МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

МОРЯ РОССИИ:
ГОД НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ В РФ – ДЕСЯТИЛЕТИЕ НАУК ОБ ОКЕАНЕ ООН

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Год науки и технологий

Российская Академия Наук

2021 2030 Десятилетие Организации Объединенных Наций, посвященное науке об океане в интересах устойчивого развития

г. Севастополь
20–24 сентября 2021 г.

**Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации**

Российская академия наук

**Морской гидрофизический институт
Российской академии наук**

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

МОРЯ РОССИИ:
Год науки и технологий в РФ –
Десятилетие наук об океане ООН

(Севастополь, 20–24 сентября 2021 года)

**Севастополь
2021**

УДК 551.46:061.3
М79

М79 **Моря России: Год науки и технологий в РФ – Десятилетие наук об океане ООН = The Seas of Russia: Year of Science and Technology in the RF – United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development :** тезисы докладов Всероссийской научной конференции, г. Севастополь, 20–24 сентября 2021 г. – Севастополь : ФГБУН ФИЦ МГИ, 2021. – 502 с. ; 21 см. – 200 экз. – ISBN 978_5_6043409_3_6. – Текст : непосредственный.

ISBN ISBN 978_5_6043409_3_6

В сборнике представлены тезисы докладов Всероссийской научной конференции «Моря России: Год науки и технологий в РФ – Десятилетие наук об океане ООН». Конференция призвана поддержать стратегическую цель Десятилетия наук об океане ООН – сохранение здоровой экосистемы океана во имя будущего человечества – и стать одной из площадок проведения Года науки и технологий в РФ. Целью конференции является улучшение координации морских исследовательских программ, совершенствование систем наблюдения за состоянием морей, развитие научного потенциала, оптимизация планирования морского пространства и уменьшение морских рисков для улучшения управления ресурсами морских и прибрежных зон.

УДК 551.46:061.3

Редколлегия:
чл.-корр. РАН, д. г. н. *С. К. Коновалов*,
д. ф.-м. н. *А. И. Кубряков*,
д. г. н. *Е. Ф. Васечкина*,
к. ф.-м. н. *Д. В. Алексеев*,
Л. В. Вержевская,
Н. А. Конопляникова

ISBN 978_5_6043409_3_6

© Коллектив авторов, 2021
© ФГБУН ФИЦ МГИ, 2021

Содержание

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Долгих Г.И. Гравитационные и инфрагравитационные морские волны 54

Макаров А.С. Будущее дрейфующих научно-исследовательских станций 55

Матишов Г.Г., Степаньян О.В., Григоренко К.С. Основные климатические и гидробиологические тенденции в южных морях России в XXI веке 58

Моисеенко Т.И. Антропогенные процессы в биосфере и их влияние на морские экосистемы 63

Филатов Н.Н., Дружинин П.В., Меншуткин В.В. Системные эколого-социо-экономические исследования Белого моря и водосбора 65

СЕКЦИЯ 1

«Фундаментальные процессы формирования и эволюции морской среды»

Алексеева Т.А., Соколова Ю.В., Тихонов В.В., Смоляницкий В.М., Афанасьева Е.В., Раев М.Д., Шарков Е.А. Оценка площади зон морского льда в Северном Ледовитом океане, неопределяемых методами спутниковой микроволновой радиометрии в летний период 67

Андреев О.М., Скутин А.А., Гудошников Ю.П. Методы расчета прочностых свойств морского льда и термодинамическое моделирование 68

Андрулионис Н.Ю., Завьялов П.О., Ижицкий А.С., Осадчиев А.А. Исследование влияния изменчивости ионно-солевого состава на физические свойства вод морских акваторий и внутренних водоемов 69

Анисимов А.Е., Ефимов В.В., Львова М.В. Численное моделирование осадков и интенсивной атмосферной конвекции над Черным морем.....70

Архипкин В.С., Мысленков С.А. Особенности формирования нагонов в губах, заливах и бухтах Карского моря.....72

Бабиков И.И., Костюкова Л.О., Маленко Ж.В., Ярошенко А.А. Колебания ледяного покрова под действием движущегося источника возмущений 74

Башарин Д.В., Шокурова И.Г. Анализ атмосферных условий возникновения ветров с устойчивым северо-восточным направлением в Черном море 76

Башмачников И.Л., Федоров А.М., Голубкин П.А., Весман А.В., Селюженок В.В., Гнатюк Н.В., Бобылев Л.П. Причины межгодовой изменчивости интенсивности глубокой конвекции в Гренландском море.....78

Белоконь А.Ю., Михайличенко С.Ю., Фомин В.В. Анализ распространения и наката уединенных волн в мелководной зоне.....80

Бердникова А.А., Янина Т.А., Зенина М.А., Сорокин В.М. Последняя ледниковая эпоха в Чёрном море и Каспии.....81

Богданов А.А., Кубряков А.А., Мизюк А.И. Эволюция и вертикальная структура субмезомасштабных циклонов, образующихся на периферии Батумского антициклона.....83

Богуславский А.С., Казаков С.И., Берзова И.Г., Хамицевич Н.В. Гидрогеологическое моделирование голоценового катастрофизма Черноморского бассейна в береговой зоне юго-западной части горного Крыма 84

Булатов В.В., Владимиров Ю.В. Внутренние гравитационные волны от движущегося на поверхности океана источника возмущений 85

Вязилова Н.А. Внетропические циклоны Северной Атлантики по районам генезиса.....87

Гайко Л.А. Особенности термического режима прибрежной зоны Приморского края в 2020 г. на фоне последних десятилетий (Японское море, Татарский пролив)..... 89

Головизнин В.М., Залесный В.Б., Соловьев А.В. Новый подход к декомпозиции системы уравнений негидростатической динамики океана на баротропную и бароклинную составляющие и новый класс консервативно-характеристических численных моделей..... 91

Головизнин В.М., Майоров Павел А., Майоров Петр А., Соловьев А.В. Моделирование лабораторных экспериментов по исследованию динамики внутренних волн в стратифицированной жидкости гидростатической модели Cabaret-MFSH 92

Горбанёв В.А. Участие МГИ и ИнБЮМ АН УССР в международных проектах по исследованию Мирового океана в 70-х – 80-х годах прошлого века..... 94

Гузенко Р.Б. Статистические закономерности строения однолетних торосов..... 97

Даньшина А.В. Изменчивость базального таяния льда в бассейне приатлантической арктики на основе данных численного моделирования 99

Дейнего И.Д., Беляев К.П. Усвоение данных наблюдений притопленных буйковых станций в модели гидрофизического режима российского арктического бассейна..... 101

Демидов Н.Э., Гунар А.Ю., Кошурников А.В., Нарижная А.И., Дмитриев И.В. Опыт применения электроразведки ЗСБ для картирования мерзлоты на акватории и примыкающей суше арктических архипелагов 102

Дианский Н.А., Морозов Е.Г., Фомин В.В., Фрей Д.И. Распространение загрязнений в Норвежском море от придонного источника 104

Долгих С.Г., Цымбал А.А. Оценка зависимости микросейсм от ветрового волнения на шельфе Японского моря 105

Дорофеев В.Л., Сухих Л.И. Изучение влияния различных источников биогенов на состояние экосистемы Черного моря на основе численного моделирования 107

Дымова О.А., Демышев С.Г., Миклашевская Н.А. Сезонная изменчивоть вкладов баротропной и бароклинной неустойчивости в энергетику циркуляции Черного моря 108

Евстигнеева Н.А., Демышев С.Г. Расчет динамических и энергетических характеристик циркуляции Черного моря на основе гидродинамической модели с учетом данных наблюдений в летний сезон 2016 г. 109

Ефимов В.В. Сравнение летних и зимних осадков в Крыму на примере данных численного моделирования 111

Ефремов О.И., Чухарев А.М. Вихревые когерентные структуры в приповерхностном слое моря 112

Журавлев В.М. Принцип максимума энтропии в теории случайно возмущенных систем 114

Зимин А.В., Жегулин Г.В., Свергун Е.И., Софьина Е.В., Лазуткина Е.С. Потенциальные очаги генерации внутреннего прилива и проявления короткопериодных внутренних волн на тихоокеанской акватории Курило-Камчатского региона 115

Инжебейкин Ю.И. Роль сейш в функционировании экосистем полузамкнутых морей 116

Ионов В.В. Синоптический мониторинг климатических изменений положения основных термических фронтов Южного океана 118

Коник А.А., Зимин А.В. Изменчивость Полярной фронтальной зоны в Баренцевом море и ее связь с атмосферными осцилляциями в XXI веке 120

Кочергин В.С., Кочергин С.В. Расчет вертикальной компоненты скорости на вложенных сетках 121

Кубряков А.А., Станичный С.В. Сезонная изменчивость скорости оседания малых частиц в Черном море по данным буев Био-Арго 122

Кубряков А.А., Лишаев П.Н., Кубрякова Е.А., Мизюк А.И. Моделирование сезонной изменчивости кокколитофорид в Черном море на основе объединенной одномерной модели NEMO-BFM 124

Кубряков А.И., Григорьев А.В. Оперативный прогноз динамики вод на черноморском подспутниковом полигоне «Геленджик» 125

Кузнецов А.С. Спектральные характеристики сезонных колебаний прибрежного течения у Южного Берега Крыма за 2002–2020 годы 126

Лемешко Е.Е. Оценка изменчивости уровня моря и скорости течений в европейском секторе северного ледовитого океана 128

Лемешко Е.М. О связи режимов циркуляции Северного Ледовитого океана с арктической осцилляцией .. 129

Леонов И.И., Соколихина Н.Н. Гололедно-изморозевые отложенийя высокой интенсивности на побережье Карского моря 130

Леонов И.И., Соколихина Н.Н. Численное моделирование штормовых условий в Новороссийской бухте в декабре 2002 года 132

Лобчук О.И., Буканова Т.В., Чубаренко И.П. Формирование ядра холодного промежуточного слоя Балтийского моря весной 2006 г. 134

Макаров К.Н. Расчет обрушения волн в рамках нелинейной теории мелкой воды 135

Манилюк Ю.В., Лазоренко Д.И., Фомин В.В., Чехов В.Н., Насонкин В.А., Боборыкина О.В. Исследование сейш Казачьей бухты по результатам измерений литосферных деформаций лазерным интерферометром и математического моделирования 137

Маркова Н.В., Дымова О.А. Численный анализ глубоководных течений в западной части Черного моря..... 138

Марчукова О.В., Воскресенская Е.Н., Зотов Л.В. Особенности формирования холодной фазы Эль-Ниньо – Южное Колебание в 2020–2021 гг..... 140

Марчукова О.В., Вышкваркова Е.В. Оценка воспроизведения метеопараметров моделями поколения CMIP6 для Севастопольского региона..... 142

Меркулов В.А., Тимохов Л.А. Многолетняя изменчивость уровня морей Северного Ледовитого океана..... 144

Мизюк А.И., Коротаев Г.К., Белокопытов В.Н., Холод А.Л. Экспериментальная система диагноза и прогноза состояния вод Мирового океана: общая структура и оценки точности 145

Михайличенко С.Ю., Куранов Д.Ю. Численное моделирование распространения и наката уединенной волны в прибрежной зоне заповедника «Херсонес Таврический»..... 146

Мороз В.В., Шатилина Т.А. Формирование экстремальных термических режимов вод в Южно-Курильском районе под влиянием изменчивости атмосферной циркуляции..... 148

Никольский Н.В., Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А. Внутригодовая изменчивость поля температуры в атлантическом секторе Антарктики по данным реанализа NOAA OI SST 150

Новоселова Е.В., Белоненко Т.В. Сезонная изменчивость потенциальной завихренности в Лофотенской котловине.... 152

Новотрясов В.В., Лобанов В.Б., Сергеев А.Ф., Павлова Е.П. Изменчивость течений в Заливе Петра Великого Японского моря, вызванная тайфуном «Лайонрок» 153

Осадчиев А.А. Речные плюмы в морях российской Арктики 154

Павлова А.В., Архипкин В.С., Мысленков С.А. Преобладающие направления ветра при нагонах в прибрежной зоне Северного Каспия 155

Павлова Е.А., Юлин А.В., Шевелёва Т.В. Сезонные изменения возрастного состава льдов юго-западной части Чукотского моря в осенне-зимний период 157

Павлушин А.А. Совместное влияние величины и сезонной изменчивости завихренности ветра на крупномасштабную циркуляцию и мезомасштабную вихревую динамику в двухслойной модели Черного моря 158

Погребной А.Е. Географические особенности и сезонная изменчивость поля ветра над проливом Фрама по многолетним данным ре-анализа ERA-5 160

Подымов И.С., Подымова Т.М., Кочергин А.Д. Анализ и оценка результатов измерений концентрации взвешенных наносов, полученных в процессе экспериментов в ганноверском лотке 162

Полозок А.А., Фомина И.Н. Численное моделирование штормовых нагонов в районе морской станции Темрюк 163

Пряхин С.С., Башмачников И.Л., Козлов И.Е., Петренко Л.А., Claudia Wekerle Роль мезомасштабных вихрей в ледовых процессах прикромочной зоны в Гренландском море 165

Пузина О.С., Мизюк А.И. Течения океанических вод на основе экспериментальной системы диагноза и прогноза состояния вод Мирового океана 167

Репина И.А., Артамонов А.Ю., Барсков К.В., Пашкин А.Д. Структура атмосферного пограничного слоя в прибрежной зоне Черного моря 168

Рудых Н.И., Ростов И.Д., Дмитриева Е.В. Климатические тенденции в морях тихоокеанской субарктики и восточной части Северного ледовитого океана 169

Санников В.Ф. Длинные внутренние волны, генерируемые областями эллиптической формы в стратифицированных потоках 170

Сапрыкина Я.В., Айдоган Б., Аят Айдоган Б. Диссипация энергии волн, обрушающихся разными типами, в спектральных волновых моделях 172

Сендеров М.В., Мизюк А.И. Оценки потоков соли в задаче «Сотворения Мира» 173

Серебренников А.Н. Развитие методики вычисления параметров климатической изменчивости апвеллингов по термическому индексу 175

Посошков В.Л., Баянкина Т.М., Сизов А.А. Крупномасштабная изменчивость зимней поверхностной температуры Баренцева и Черного морей..... 177

Слепышев А.А., Носова А.В., Рыбалкина М.В. Вертикальный пернос импульса инерционно-гравитационными внутренними волнами на северо-западном шельфе Черного моря..... 179

Софьина Е.В., Каган Б.А., Тимофеев А.А. Параметризация приливного перемешивания в моделировании регионального климата Баренцева, Карского морей и моря Лаптевых 180

Стурова И.В., Ткачева Л.А. Влияние неравномерного сжатия ледяного покрова на развитие волновых возмущений при движении внешней нагрузки и погруженной сферы..... 182

Суркова Г.В. Турбулентный теплообмен в западном секторе Российской Арктики на фоне изменений климата... 183

Сухонос П.А. Анализ повторного появления аномалий толщины перемешанного слоя в северо-восточной части Северной Атлантики в конце 2000-х годов..... 185

Тимофеева А.Б., Шаратунова М.В. Изменение толщины льда в море Лаптевых за период с 2005 г. 187

Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д., Басюк Е.О., Хен Г.В., Матюшенко Л.Ю. Ледовитость дальневосточных морей в современный период 188

Царев В.А., Подрезова Н.А. Модель придонных плотностных потоков с учетом придонного пампинга..... 190

Чешм Сиахи В., Кудрявцев В.Н., Юровская М.В. Особенности генерации волн полярными циклонами 192

Чикин А.Л., Клещенков А.В., Чикина Л.Г. Моделирование процесса затопления дельты Дона 194

Шаратунова М.В., Иванов В.В., Тимофеева А.Б., Юлин А.В. Метод долгосрочного прогноза положения границ дрейфующего и сплоченного льдов в Восточно-Сибирском море в летний период 196

Шокуров М.В., Краевская Н.Ю. Линейный и нелинейный режимы бризовой циркуляции по результатам двумерного численного моделирования 198

Яковлева Д.А., Башмачников И.Л. Причины межгодовой изменчивости интенсивности глубокой конвекции в море Ирмингера 199

Янина Т.А. Роль манычского пролива в развитии бассейнов Каспия в неоплейстоцене..... 201

Яровая Д.А. Мезомасштабный циклон 1–3 сентября 2015 г. в районе Новосибирских островов по спутниковым данным и результатам численного моделирования 203

Vlasova G., Mau Dinh Le, Marchenko S., Dung Thi Thuy Nguyen Impact of tropical cyclones forming over the South China Sea to the Far Eastern seas of Russia 205

СЕКЦИЯ 2

«Морские наблюдательные системы: методы, средства и результаты»

Алескерова А.А., Кубряков А.А., Станичный С.В., Мизюк А.И. Эволюция прибрежных апвеллингов в Черном море под влиянием динамических факторов по данным спутниковых измерений и модельных расчетов..... 207

Артамонова А.В., Козлов И.Е. Вихри в Европейском секторе Арктики по данным спутниковых радиолокационных наблюдений в теплый период 2007 года 208

Архипкин В.С., Мухаметов С.С. Современные тенденции изменения параметров водных масс Баренцева моря 209

Атаджанова О.А., Коник А.А., Зимин А.В., Данилов И.А., Джамалова А.Г., Завада Д.Е. Субмезомасштабные вихри в дальневосточных морях РФ в августе 2020 г. по радиолокационным изображениям 211

Бакуева Я.И., Козлов И.Е. Наблюдения короткопериодых внутренних волн в Южном океане по данным спутниковых РСА Sentinel-1 A/B 212

Баранов В.И., Зацепин А.Г., Куклев С.Б., Очередник В.В., Машура В.В. Многофункциональная кабельная система он-лайн мониторинга на полигоне «Геленджик» 214

Безгин А.А., Лунев Е.Г., Мотыжев С.В., Воликов М.С., Гимпилевич Ю.Б., Редькина Е.А., Лукьянчиков А.В. Интеллектуальная система оперативного контроля пресноводных ресурсов и морских акваторий Севастополя . 216

Бондур В.Г., Дулов В.А., Мурынин А.Б. Валидация методов восстановления спектров морского волнения в широком диапазоне длин волн по спутниковым и контактным данным..... 217

Букатов А.А., Павленко Е.А., Соловей Н.М. Влияние речного стока на вертикальную структуру вод Баренцева и Карского морей..... 218

Василенко Н.В., Медведева А.В., Кубряков А.А., Алескерова А.А., Станичный С.В., Мизюк А.И. Особенности затоков черноморских вод в акваторию Азовского моря по спутниковым и модельным данным 219

Гармашов А.В., Марюшкин Ю.А., Толокнов Ю.Н., Коровушкин А.И. Гидрометеорологический мониторинг на Стационарной океанографической платформе в 2011-2020 гг. 221

Гицба Я.В., Экба Я.А. Характеристика гидрофизического режима акватории Сухумской бухты 223

Гордеева С.М., Дешова Д.В. Перенос воды, тепла и соли в проливе Карские ворота 225

Греков А.Н., Селезнев И.А., Коровин А.Н., Трусевич В.В., Рязанов В.А. Биологическая система раннего обнаружения для акватории г. Севастополя 226

Григоренко К.С. Ледовые явления в Азовском море в 2020–2021 гг. 228

Григорьев А.В. Спектральные и статистические характеристики изменчивости вод Азовского моря в 2014–2020 гг. 229

Григорьев М.Н., Максимов Г.Т. Формирование и деградация многолетней мерзлоты на шельфе Арктических морей РФ 231

Грязин Д.Г., Глеб К.А. Оценка кривизны морской поверхности с помощью измерений, выполненных волномерным буем 233

Гусаров Р.Н. Физическое моделирование волн цунами методом пневматического цунамигенератора 235

Демидов А.Н., Гиппиус Ф.Н., Иванов А.А., Добролюбов С.А., Волкова В.В. Перенос глубинных и донных вод через разлом Вима Срединно-атлантического хребта 236

Дикарёв В.А. Каким был уровень Черного моря в античное время? 237

Ермошкин А.В., Купаев А.В., Мольков А.А. Радиолокационные исследования морской поверхности в рейсе АМК-82.... 239

Железова Е.В. Ледовые условия в Вислинском-Калининградском заливе по спутниковым данным в 2011-2021 годах..... 240

Замшин В.В., Чверткова О.И., Ходаева В.Н., Матросова Е.Р., Шлюпиков В.А. НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Южном океане – вид из космоса..... 241

Зацепин А.Г., Подымов О.И. Тонкая структура вод Черного моря и ее связь с термохалиннми аномалиями и фронтами.. 243

Зимин А.В., Свергун Е.И., Лазуткина Е.С., Жегулин Г.В. Внутригодовая изменчивость характеристик внутреннего волнения вблизи тихоокеанского побережья полуострова Камчатка и Курильских островов по данным спутниковой радиолокации..... 245

Зимин А.В., Родионов А.А., Мотыжев С.В., Лунев Е.Г., Толстошеев А.П. Система мониторинга характеристи гидрофизических полей в субмезомасштабном интервале изменчивости 246

Жук В.Р., Кубряков А.А., Осадчиев А.А. Особенности распространения плюма реки Лена по спутниковым измерениям солености и уровня во время безлёдного периода 248

Жук Е.В. Интерфейс доступа к океанографическим данным по Чёрному морю 249

Завьялов Д.Д., Соломаха Т.А. Влияние фазового состава атмосферных осадков на сезонную эволюцию снежно-ледяного покрова в северо-восточной части Таганрогского залива..... 251

Иванов В.В., Бресткин С.В., Кусуров В.И., Ситников И.Ю. Оптимизация деятельности и планирования морских транспортных операций за счет совершенствования технологий гидрометеорологического обеспечения..... 253

Иванов В.В., Тузов Ф.К. Формирование «купола» плотных вод над центральной банкой Баренцева моря в условиях сократившегося ледяного покрова.....254

Козлов И.Е., Михайличенко Т.В. Оценка фазовой скорости короткопериодных внутренних волн в Арктике на основе спутниковых наблюдений и прямых измерений.....256

Коломейцев В.В., Горин С.Л. Новые сведения о морских течениях у берегов западной Камчатки.....257

Кориненко А.Е., Малиновский В.В., Дулов В.А., Кудрявцев В.Н. О зарождении и временах жизни обрушений ветровых волн.....259

Корчемкина Е.Н., Маньковская Е.В., Райкина А.О. Биооптические характеристики поверхностных вод Черного моря в апреле–мае 2021 года.....261

Круглова Е.Е., Мысленков С.А. Сезонная и межгодовая изменчивость высоты ветровых волн в Каспийском море....262

Кубряков А.А., Пузина О.С., Мизюк А.И. Влияние кросс-шельфого обмена на интенсивность субмезомасштабной динамики в глубоководной части Черного моря.....264

Кубрякова Е.А., Кубряков А.А. Сезонная изменчивость концентрации хлорофилла «а» по данным буев Био-Арго в различных районах Южного океана.....266

Кудинов О.Б., Суслин В.В. Профили оптически активных веществ в азовском море по данных прямых измерений в 106 рейсе НИС «Профессор Водяницкий» весной 2018 года 267

Кузнецов С.Ю., Сапрыкина Я.В. Нелинейный анализ нестационарных флуктуаций штормовитости Черного моря.....269

Кузьмичёва Т.Ф. Анализ снимков, полученных со спутников AQUA/TERRA (2000 – 2021), Landsat-8, Sentinel-2, об особенностях заполнения водой с юга восточной части бывшего Аральского моря.....270

Латушкин А.А., Федирко А.В., Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А., Кудинов О.Б. Особенности вертикального распределения общего взвешенного вещества и гидрологических параметров в северной части Черного моря по данным экспедиций на НИС «Профессор Водяницкий» 272

Лишаев П.Н., Кубряков А.А., Алескерова А.А. Пространственно-временная изменчивость цветений цианобактерий в Азовском море на основе их автоматической идентификации по данным MODIS 274

Матросова Е.Р., Замшин В.В., Чверткова О.И. Опыт многопользовательского дешифрирования космических изображений морской поверхности на базе облачной платформы Google Earth Engine 275

Медведев И.П. Синоптические и мезомасштабные колебания уровня Черного моря: сезонная и межгодовая изменчивость, экстремальные значения 277

Медведева А.В., Станичный С.В., Василенко Н.В., Алескерова А.А., Кубряков А.А. Морская слизь и цветение фитопланктона в Мраморном море в весенне-летний период 279

Меркулов В.А., Махотин М.С., Куссе-Тюз Н.А., Кузьмин С.Б., Ипатов А.Ю., Карпов М.В. Океанографические исследования в проливе Шокальского на базе научно-исследовательского стационара «Ледовая база Мыс Баранова» 281

Миронюк С.Г., Ковачев С.А. Основные результаты сейсмологического мониторинга западной части Черного моря 282

Михайличенко Т.В., Козлов И.Е. Динамика коротко-периодных внутренних волн в проливе Фрама и вблизи арх. Шпицберген по данным последовательных РСА наблюдений 283

Морозов А.Н., Маньковская Е.В. Особенности распределения гидрологических параметров в глубинном слое Черного моря по натурным данным (июль 2016 г.) 284

Навроцкий В.В. Внутренние волны и биогеоморфологические процессы в шельфовой зоне моря 286

Нижниковская О.Ю., Очередник В.В., Зацепин А.Г. Использование спутниковых изображений для интерпретации данных измерений донных станций ADCP и термокос на полигоне «Геленджик» ИОРАН 287

Новиков Б.А., Кубряков А.А., Федоров С.В. Восстановление батиметрии по данным бортовой камеры БПЛА в прибрежной акватории Черного моря 289

Новикова Ю.С., Башмачников И.Л. Вихри Лофотенской котловины по данным спутниковой альтиметрии, изображениям в радиолокационном и видимом диапазонах 291

Новицкий А.В., Карцан И.Н. Применение спутниковой системы связи для оперативного получения данных с автономных профилографов 292

Павлов М.И., Чухарев А.М., Казаков Д.А. Верификация многомасштабной модели и экспериментальные исследования циркуляций Ленгмюра 294

Павлушин В.А., Кубряков А.А. Изменчивость площади и формы Бенгельского апвеллинга по спутниковым измерениям температуры и солёности 295

Пантелеева Г.Г., Кубряков А.А., Медведева А.В., Алескерова А.А., Рубакина В.А., Павлушин В.А. Инновационное мышление и практика океанологических исследований 297

Пасынков М.А., Рязанов В.А., Касьяненко К.А. Результаты испытаний в шельфовой зоне Черного моря прибора ИСТ1-МА 299

Петренко Л.А., Козлов И.Е. Вихреобразование в прикромочной ледовой зоне пролива Фрама по данным спутниковых радиолокационных измерений 301

Пляка П.С., Будник А.П., Валов Г.В., Герасюк В.С., Глущенко Г.Ю., Иванов В.А. Исследование распределения фитопланктона при помощи проточной судовой измерительной системы 302

Пляка П.С., Хорошев О.А., Валов Г.В., Иванов В.А., Юдин А.В., Будник А.П., Нафрамица Г.А. Использование сверхмалых автономных плавсредств для сбора контактных и визуальных данных об окружающей среде 304

Пономарев В.И., Лазарюк А.Ю., Старжинский С.С., Кустова Е.В., Харламов П.О., Лобанов В.Б. Сергеев А.Ф., Марьина Е.Н., Шкорба С.П. Вариации вертикального профиля скорости течения и характеристик волнения при нестационарном атмосферном воздействии по измерениям на буе WAVESCAN в юго-западной шельфовой зоне залива Петра Великого в 2016 г. 305

Рубакина В.А., Кубряков А.А., Станичный С.В., Мизюк А.И. Суточные колебания температуры вод черного моря на основе спутниковых данных и данных Численного моделирования 307

Сапрыкин О.А., Носов В.Н., Спирочкин Ю.К. О технологии добычи водородного топлива в Чёрном море 309

Свергун Е.И., Зимин А.В., Лазуткина Е.С., Титовской А.В., Кулик К.В. Изменчивость поверхностных проявлений внутренних волн в дальневосточных морях России на примере августа 2019 и 2020 годов 310

Свищев С.В. Особенности влияния высокочастотных изменений потока тепла на вертикальное распределение кислорода по данным буев Био-Арго в зимний период 2017 года 312

Свищев С.В., Кубрякова Е.А., Кубряков А.А., Лишаев П.Н. Оценка влияния биологических процессов на сезонную изменчивость концентрации кислорода в верхнем слое Черного моря по данным буев Био-Арго и результатам численного моделирования 314

Селюженок В.В., Демчев Д.М., Кессель А.С. Наблюдение за стамухами в морях Российской Арктики по данным радиолокационной съемки 315

Сильвестрова К.П., Пузина О.С., Мысленков С.А. Прогноз ветровых апвеллингов и его сравнение с данными термокосы, установленной в заповеднике Утриш в 2020 г. .. 316

Симонова Ю.В., Майборода С.А. Наблюдение за прибрежными динамическими процессами в районе ЮБК после интенсивных осадков по спутниковым снимкам 318

Смоляницкий В.М., Мотыжев С.В., Смирнов К.Г., Соколов В.Т., Толстошеев А.П., Лунев Е.Г., Безгин А.А. Развитие сети морских синоптических наблюдений в Арктике на базе дрейфующих буев отечественного производства 319

Стерлядкин В.В., Куликовский К.В., Кузьмин А.В., Шарков Е.А., Лихачева М.В. Натурные испытания сканирующего лазерного волнографа 322

Толстошеев А.П., Лунев Е.Г., Мотыжев С.В., Дыкман В.З. Модуль оценивания солености морской воды на основе измерений скорости звука 323

Травкин В.С., Белоненко Т.В. Исследование потенциальной и кинетической энергии Лофотенской котловины на основе данных реанализа GLORYS12V1 325

Федирко А.В., Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А., Никольский Н.В., Шаповалов Р.О., Дерюшкин Д.В. Гидрологическая структура вод северной части Черного моря весной 2018 г. по данным измерений на НИС «Профессор Водяницкий» 326

Федотова А.А., Антипов Н.Н. Согласование CTD-данных программы по исследованию мирового океана с помощью морских млекопитающих с данными, полученными с судов, в заливе Прюдс 328

Филиппова Т.А., Васечкина Е.Ф. Верификация модели энергетического бюджета плоской устрицы 329

Ходаева В.Н., Харченко В.Д., Замшин В.В. Особенности газопроявлений на морской поверхности, регистрируемых по космическим оптическим изображениям 331

Хурчак А.П., Багаев А.В. Экспериментальный прибор для дистанционного отбора проб воды на основе доступных комплектующих – микроконтроллера Arduino и радиомодуля NRF24L01 332

Чубаренко Б.В., Закиров Р.Б., Чечко В.А. Обмен взвешенным веществом между Вислинским заливом и Балтийским морем в контексте оценки седиментационного баланса залива 334

Шлюпиков В.А., Замшин В.В. Оценка динамики значимых параметров морской среды атлантической части Антарктики по долговременным рядам спутниковых данных 335

Юровская М.В., Кудрявцев В.Н. Экспресс-оценка полей волнения в ураганах 336

Юровский Ю.Ю., Кудрявцев В.Н., Гродский С.А., Шапрон Б. Радиолокационная модель обрушений ветровых волн 338

Ясакова О.Н., Литвин А.Ю. Планктонное сообщество Керченского пролива в сентябре 2020 г. 339

СЕКЦИЯ 3

«Рациональное использование ресурсов морской среды»

Аксенов А.О., Большиянов Д.Ю. Голоценовые береговые линии ладожского озера по данным геоморфологического профилирования 341

Алабян А.М., Василенко А.Н., Демиденко Н.А., Крыленко И.Н., Панченко Е.Д., Платонов С.В., Попрядухин А.А., Севастьянова Л.Ю. Устье Печоры: хоть и «микро-», но всё-таки приливное..... 343

Александров С.В., Семенова А.С. Экологическое состояние вод Балтийского моря в летний период 2018–2020 гг. 344

Артамонова К.В., Гангнус И.А. Гидролого-гидрохимические условия моря Содружества в весенне-летне-осенний антарктический период 346

Багаев А.В., Никишин В.В., Рауэн Т.В., Вержевская Л.В., Рябцев Ю.Н., Цыганова М.В., Щербаченко С.В. Многокомпонентный подход к оценке физико-биологического состояния воды в окрестности выпуска городских ливневых стоков в Севастопольской бухте 348

Баринова Г.М., Рябкова О.И., Краснов Е.В., Романчук А.Ю., Ушакова Л.О. Типы конфликтов природопользования в прибрежной зоне 350

Бежин Н.А., Козловская О.Н., Шибецкая Ю.Г., Довгий И.И. Новый сорбент на основе волокна, импрегнированного гидроксидом железа(+3) 353

Болиховская Н.С. Этапы эволюции климата и растительности нижнего Поволжья в последние 16 тысяч лет и их корреляция с колебаниями уровня Каспийского моря 354

Большиянов Д.Ю., Макаров А.С., Ашик И.М. Берега морей Российской Арктики 358

Бортин Н.Н., Дьяченко К.Н., Зверев А.В., Спесивцева Е.Е. Морфометрические особенности прибрежных акваторий залива Петра Великого Японского моря и возможная трансформация их экосистем с учетом предполагаемой перспективы развития портов 360

Боскачёв Р.В.,Чубаренко Б.В. Анализ расходов воды в реках Преголя и Дейма по данным наблюдений 1990–2020 гг. 362

Букатов А.А. К вопросу о реконструкции затопленных участков Херсонеса и его хоры в Карантинной и Круглой бухтах 363

Буфетова М.В. Зависимость концентрирующей способности тяжелых металлов взвесями Азовского моря от их концентрации в воде 365

Валле А.А. Анализ сезонной изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик вод северо-западной части Черного моря 366

Вареник А.В., Орехова Н.А. Оценка влияния атмосферных выпадений на продуктивность поверхностного слоя вод Черного моря 368

Василевский Д.Н., Василевская Л.Н., Лисина И.А. Эпизоды эктремального загрязнения атмосферного воздуха диоксидом серы в прибрежных районах Приморского края в 2019–2020 гг. 370

Видничук А.В., Коновалов С.К. Изменение кислородного режима глубоководной части Черного моря по многолетним данным 372

Вилкова О.Ю. Осетровые рыбы: объект рыболовства и исчезающий вид. Ответственность за ущерб 373

Вялый Е.А., Макаров К.Н. Методика математического моделирования волнения на акваториях островных сооружений 375

Гайко Л.А., Шатилина Т.А., Лысенко А.В. Влияние термических и синоптических условий на динамику численности приморской горбуши (Японское море, Татарский пролив) 377

Гогоберидзе Г.Г., Румянцева Е.А., Косьян Р.Д. Комплексный критериально-статистический подход к оценке устойчивости локальных береговых систем (на примере Краснодарского края) 379

Гогоберидзе Г.Г., Румянцева Е.А., Шилин М.Б. Оценка рисков Арктического берегового природопользования матричным подходом 380

Гребнева Е.А. Временной ход величины pH поверхностных вод глубоководной части Черного моря, за период с 1956 по 2020 гг. 382

Давыдов А.В. Определение прорв как элементов береговых систем бесприливных морей 383

Данилова Л.В. Проблемы управления подводным культурным наследием и включение пкн в морское пространственное планирование 385

Долгушев Т.В. О необходимости учёта влияния климатических изменений при проектировании морских сооружений 387

Дьяков Н.Н., Липченко А.Е., Мальченко Ю.А., Жиляев С.А. Современные гидрологические и гидрохимические условия залива Донузлав 388

Дьяков Н.Н., Мальченко Ю.А., Липченко А.Е., Боброва С.А. Гидролого-гидрохимические характеристики прибрежных вод Севастополя в 2020-2021 гг. 390

Евстигнеев В.П., Ерёмина Е.С., Остроумова Л.П. Многолетняя именчивость морфометрических характеристик Азовского моря 392

Егорова Ю.Е., Судник С.А. Биология каменной креветки, *Palaemon Elegans Rathke*, 1837 (*decapoda, caridea, palaemonidae*) в водах юго-восточной Балтики в летний период 2020 г. 394

Ершова А.А., Еремина Т.Р., Макеева И.Н. Методические подходы к мониторингу морского мусора и микропластика в прибрежно-морской зоне 396

Ершова А.А., Еремина Т.Р., Макеева И.Н., Панькин Д.В., Крутиков И.А., Басалай Е.Н. Морской мусор и микропластик в западной части Российской Арктики..... 398

Есюкова Е.Е., Лобчук О.И., Володина А.А., Чубаренко И.П. Роль морских макрофитов в удержании микропластика в Балтийском море 400

Ефремова Т.В., Горячкин Ю.Н. Деградация дюнных ландшафтов на побережье Черного моря..... 401

Ивлиева О.В., Беспалова Л.А. Морские берега Ростовской области и проблемы берегозащиты 403

Истомин Е.П., Мартын И.А., Михеев В.Л. Применение модели ветрового волнения для снижения георисков при эксплуатации морского порта 405

Килесо А.В., Чубаренко Б.В., Есюкова Е.Е. Загрязнение побережья калининградской области остатками геосинтетических материалов 407

Ковалева О.А., Рябчук Д.В., Сергеев А.Ю., Буданов Л.М. Мониторинг развития береговых процессов восточной части Финского залива под влиянием природных и техногенных факторов 408

Козловская О.Н., Шибецкая Ю.Г., Бежин Н.А., Довгий И.И. Распределение долгоживущих изотопов радия в прибрежных и глубоководных районах Черного моря..... 410

Кондратьев С.И., Хоружий Д.С. Особенности вертикальных профилей фосфатов и кремнекислоты в Черном море по данным экспедиционных исследований 2016-2018 гг. 411

Котельянец Е.А., Гуров К.И., Тихонова Е.А., Кондратьев С.И. Вертикальное распределение тяжелых металлов в донных отложениях Балаклавской бухты..... 412

Кременчуцкий Д.А., Батраков Г.Ф. Резидентное время бериллия-7(^{7}Be) в поверхностном слое вод Черного моря.... 414

Кривошлык П.Н., Чубаренко И.П., Бочерикова И.Ю. Сезонная изменчивость содержания частиц микропластика в песках прибойной зоны Вислинской косы 415

Крыленко В.В., Крыленко М.В. Происхождение и строение банки Еленина 417

Крыленко М.В., Косьян Р.Д., Крыленко В.В., Крыленко Д.В. Взаимодействие гидродинамических и эоловых процессов в зоне пляжа 419

Крыленко С.В. Об обнаружении живых особей *Flexopecten Glaber Ponticus* в пляжевых отложениях Анапской пересыпи 421

Куринная Ю.С., Орехова Н.А., Гуров К.И., Забегаев И.А. Физико-химические характеристики донных отложений в районе Керченского пролива 423

Лаппо А.Д., Данилова Л.В. Морское пространственное планирование как инструмент продвижения Черноморского сотрудничества 425

Лебедева С.В. Мониторинг и исследование гидрологического режима морских устьев рек в СССР и в России 427

Лобчук О.И., Есюкова Е.Е., Килесо А.В. Загрязнение морским антропогенным мусором пляжей юго-восточной части Балтийского моря 2019–2021 гг. 429

Лукиных А.И., Крыленко С.В. Характеристики состава растительности абразионного берега северо-западной части черноморского побережья Кавказа 430

Лысенко В.И. Биогеохимические процессы образования «карбонатов углеводородного просачивания» в юго-западной части горного Крыма в поздней юре 432

Медведева В.Н. Партнерство науки и культуры или сколько на Земле морей? 433

Михневич Г.С., Крек А.В., Данченков А.Р., Кречик В.А. Особенности распределения микроэлементов в вертикальном разрезе донных отложений Гданьской впадины 435

Огнистая А.В. Метаболиты микроводорослей для борьбы с бактериальным загрязнением прибрежных акваторий Японского моря 437

Орехова Н.А., Вареник А.В. Биогенные элементы в поверхностном слое вод Черного моря по данным 2016–2019 гг. 439

Остроумов Л.В., Остроумов М.В. Модернизация Государственной морской береговой наблюдательной сети: перспективы, задачи и технические решения 441

Панченко Е.Д., Алабян А.М. Гидравлическое сопротивление приливных участков малых рек бассейна Белого моря .. 443

Петров К.М. Анализ ландшафтообразующей роли компонентов природы в береговой зоне и на шельфе 445

Погожева М.П., Якушев Е.В. Анализ связи распределения плавающего морского мусора с океанографическими характеристиками в арктических морях России в октябре 2020 г. 446

Румянцева Е.А., Гогоберидзе Г.Г., Шилин М.Б. Градации классификационных признаков составляющих рисков арктического берегового природопользования 448

Санин А.Ю. К вопросу о рациональном использовании рекреационных ресурсов морских побережий Российской Федерации 450

Светашева Д.Р., Стольникова Н.В., Кузин А.В. Идентификация нефтяного загрязнения в северо-западной части Каспийского моря в 2020 г. 452

Семкин П.Ю., Тищенко П.Я., Чаркин А.Н., Павлова Г.Ю., Анисимова Е.В., Барабанщиков Ю.А., Тищенко П.П., Швецова М.Г. Изотопы радия и биогенные вещества в эстуарии р. Раздольной (Амурский залив, Японское море) в период летнего паводка..... 454

Сергин С.Я., Цай С.Н., Шаповалова А.С. Рекреационные климатические условия береговой зоны Чёрного и Азовского морей 456

Слепчук К.А., Миньковская Р.Я., Антоненков Д.А., Чепыженко А.И. Оценка обменных процессов в морских устьях рек по натурным данным (на примере устья р. Чёрной) 457

Слуковский З.И., Белкина Н.А., Потахин М.С. Геохимия современных отложений Выгозерского водохранилища, водосбор Белого моря (арктическая зона РФ) 458

Совга Е.Е., Ерёмина Е.С. Соленость в южном Сиваше после перекрытия Северо-крымского канала 460

Совга Е.Е., Мезенцева И.В., Хмара Т.В. Отличия в самоочистительной способности экосистем Севастопольской бухты в отношении восстановленных форм азота 461

Степанчук Ю.В. Роль научно-исследовательского судна «Витязь» в международных исследованиях Мирового океана (1949–1979 гг.) 464

Стольникова Н.В., Гонтовая И.В., Светашева Д.Р. Влияние гидрометеорологических условий на распределение тяжелых металлов в Северном Каспии 465

Сушкевич Т.А., Стрелков С.А., Максакова С.В. «Будущее земли»: глобальное радиационное поле – «нематериальная» компонента климатической системы и «Диктатор Океан». К 110-летию со дня рождения М.В.Келдыша 467

Терентьев А.С., Сёмик А.М. Сообщество зообентоса прибрежной части оз. Донузлав 470

Тлявлин Р.М., Тлявлина Г.В. Некоторые вопросы влияния гидротехнических сооружений на экологическую среду в шельфовой зоне морей 472

Тлявлина Г.В. Разработка национального стандарта ГОСТ Р «Физическое моделирование волновых воздействий на портовые гидротехнические сооружения. требования к построению модели, проведению экспериментов и обработке результатов» 473

Удовик В.Ф. Оценки рисков деградации пляжей западного Крыма в результате реализации масштабных проектов берегоукрепления 475

Усенков С.М. Донные отложения как индикаторы загрязнения аквальных систем 477

Фазлуллин С.М. Угрозы объектам подводного историко-культурного наследия 479

Хатмуллина Л.И., Чубаренко И.П. Тонкие синтетические волокна, оседающие в неподвижной и конвективно перемешивающейся среде 481

Чубаренко И.П., Есюкова Е.Е., Зобков М.Б., Исаченко И.А. Распределение микропластика в донных отложениях Балтийского моря 482

Шелушинин Ю.А. Искажение масштабов при физическом моделировании воздействия морских волн на гидротехнические сооружения 484

Шибецкая Ю.Г., Бежин Н.А., Кременчуцкий Д.А., Довгий И.И. Концентрирование тория-234 из морской воды для изучения потоков взвешенного органического углерода 486

Шик Н.В. Флюктометр С. О. Макарова: прибор, с которого началась наука о проливах 487

Эль Н.Ю. Спасение мирового океана от загрязнений – глобальная задача современности 489

Ярославцев Н.А. Литодинамические системы восточного побережья южного Сахалина 491

Sergin S.Ya. Cosmo-chemical origin of water and ocean on the earliest Earth 493

Перечень организаций 495

Contents

PLENARY REPORTS

Dolgikh G. I. Gravitational and infra-gravitational sea waves 54

Makarov A. S. The future of drifting research stations 55

Matishov G. G., Stepanyan O. V., Grigorenko K. S. Main climatic and hydrobiological trends in Ruэлектssian southern seas in the 21st century 58

Moiseenko T. I. Anthropogenic processes in the biosphere and their impact on marine ecosystems 63

Filatov N. N., Druzhinin P. V., Menshutkin V. V. System ecological-socio-economic studies of the White Sea and its watershed 65

SECTION 1

Fundamental processes of formation and evolution of the marine environment

Alekseeva T. A., Sokolova J. V., Tikhonov V. V., Smolyanitsky V. M., Afanasyeva E. V., Raev M. D., Sharkov E. A. Estimation of sea ice areas undetectable by satellite microwave radiometry during summer season in the Arctic Ocean 67

Andreev O. M., Skutin A. A., Gudoshnikov Yu. P. Methods for calculating sea ice strength properties and thermodynamic modeling 68

Andrulionis N. Yu., Zavialov P. O., Izhitskiy A. S., Osadchiev A. A. Research of the influence of variability of the ion-salt composition on physical properties of sea water and inland water bodies 69

Anisimov A. E., Efimov V. V., Lvova M. V. Numerical modelling of precipitation and intense atmospheric convection over the Black Sea 70

Arkhipkin V. S., Myslenkov S. A. Features of surge formation in Kara Sea gulfs and bays 72

Babikov I. I., Kostyukova L. O., Malenko Zh. V., Yaroshenko A. A. Fluctuations of the ice cover under the action of a moving source of disturbances 74

Basharin D. V., Shokurova I. G. Analysis of atmospheric conditions of occurence of persistent north-easterly winds in the Black Sea 76

Bashmachnikov I. L., Fedorov A. M., Golubkin P. A., Vesman A. V., Selyuzhenok V. V., Gnatiuk N. V., Bobylev L. P. On interannual variability of deep convection in the Greenland Sea 78

Belokon A. Yu., Mikhailichenko S. Yu., Fomin V. V. Analysis of propagation and run-up of solitary waves in a shallow water zone 80

Berdnikova A. A., Yanina T. A., Zenina M. A., Sorokin V. M. Last glacial in the Black and Caspian Seas 81

Bogdanov A. A., Kubryakov A. A., Mizyuk A. I. Evolution and vertical structure of sub-mesoscale cyclones formed on the Batumi anticyclone periphery 83

Boguslavsky A. S., Kazakov S. I., Berzova I. G., Khamitsevich N. V. Hydrogeological modeling of Holocene catastrophism in the Black Sea basin in the coastal zone of the southwestern part of Mountain Crimea 84

Bulatov V. V., Vladimirov Yu. V. Internal gravity waves from a disturbance source moving on the ocean surface 85

Viazilova N. A. Extratropical cyclones of the North Atlantic by areas of genesis 87

Gayko L. A. Peculiarities of the thermal regime of the coastal zone of the Primorsky Krai in 2020 against the background of recent decades (Sea of Japan, Tatar Strait) 89

Goloviznin V. M., Zalesny V. B., Solovjev A. V. A new approach to decomposition of the system of equations of nonhydrostatic ocean dynamics on the barotropic and baroclinic components and a new class of conservative characteristic numerical models 91

Goloviznin V. M., Maiorov Pavel A. Maiorov Petr A., Solovjov A. V. Numerical modeling of laboratory experiments on the propagation of internal waves in a stratified fluid using the CABARET-MFSH hydrostatic model 92

Gorbanyov V. A. Participation of MHI and IBSS of the Academy of Science of the USSR in international ocean research projects in the 1970s and 1980s 94

Guzenko R. B. Statistical regularities of the structure of first-year ice ridges 97

Danshina A.V. Variability of Basal Ice Melting in the Atlantic Arctic based on Numerical Simulation Data 99

Deinego I. D., Belyaev K. P. Assimilation of in situ data observed by autonomous buoy stations into the model of hydrophysical regime of the Russian Arctic. 101

Demidov N. E., Gunar A. Yu., Koshurnikov A. V., Narizhnaya A. I., Dmitriev I. V. Experience of application of electrical protection sensing of the field formapping the permafrost on the water area and adjacent area of the Arctic archipelagoes 102

Diansky N. A., Morozov E. G., Fomin V. V., and Frey D. I. Spread of pollution from a bottom Source in the Norwegian Sea 104

Dolgikh S. G., Tsymbal A. A. Assessment of dependence of microseisms on wind waves on the Sea of Japan shelf 105

Dorofeyev V. L., Sukhikh L. I. Study of different biogen sources influence on the Black Sea ecosystem state based on numerical modeling. 107

Dymova O. A., Demyshev S. G., Miklashevskaya N. A. Estimation of the seasonal contributions of barotropic and baroclinic instability to the Black Sea eddy circulation 108

Evstigneeva N. A., Demyshev S. G. Calculation of dynamic and energy characteristics of the Black Sea circulation on the basis of the hydrodynamic model taking into account observational data in the summer season of 2016 109

Efimov V. V. Comparison of summer and winter precipitation in the Crimea on the example of numerical modeling data 111

Efremov O. I., Chukharev A. M. Eddy coherent structures in the near-surface sea layer 112

Zhuravlev V. M. The maximum entropy principle in the theory of randomly perturbed systems 114

Zimin A. V., Zhegulin G. V., Svergun E. I., Sofina E. V., Lazutkina E. S. Potential foci of internal tide generation and short-period internal wave manifestations in the Pacific waters of the Kurils-Kamchatka Region 115

Inzhebeikin Yu. I. The role of seishes in the functioning of semi-closed seas ecosystems 116

Ionov V. V. Synoptical monitoring of climatic changes in the positions of the main thermal fronts of the Southern Ocean 118

Konik A.A., Zimin A.V. Variability of the Polar frontal zone in the Barents Sea and its relation to atmospheric oscillations in the 21th century 120

Kochergin V. S., Kochergin S. V. Calculation of the vertical velocity component on nested grids 121

Kubryakov A. A., Stanichny S. V. Seasonal variability of the settling velocity of small particles in the Black Sea from Bio-Argo measurements 122

Kubryakov A. A., Lishaev P. N., Kubryakova E. A., Mizyuk A. I. Modeling of seasonal variability of Coccolithophores in the Black Sea based on the combined one-dimensional NEMO-BFM 124

Kubryakov A. I., Grigoriev A. V. Operational forecast of water dynamics at the "Gelendzhik" sub-satellite testing area on the Black Sea 125

Kuznetsov A. S. Spectral characteristics of seasonal coastal current fluctuations at the Southern coast of Crimea for 2002-2020 126

Lemeshko E. E. Assessment of sea level variability and current velocity in the European sector of the Arctic Ocean 128

Lemeshko E. M. About relations of Arctic Ocean circulation modes with Arctic oscillation 129

Leonov I. I., Sokolikhina N. N. High-intensity ice-rime deposits on the coast of the Kara Sea 130

Leonov I. I., Sokolikhina N. N. Numerical modelling of storm conditions in the Novorossiysk Bay in December 2002 132

Lobchuk O. I., Bukanova T. V., Chubarenko I. P. Formation of the core of the Baltic cold intermediate layer in spring 2006 134

Makarov K. N. Wave breaking calculation in the nonlinear shallow water theory 135

Manilyuk Yu. V., Lazorenko D. I., Fomin V. V., Chekhov V. N., Nasonkin V. A., Boborykina O. V. Studies of the seishe oscillations in the Kazachya Bay by the results of lithospheric deformation measurements by laser interferometer and mathematical simulation 137

Markova N. V., Dymova O. A. Numerical Analysis of Deep-Water Currents in the Western Part of the Black Sea 138

Marchukova O. V., Voskresenskaya E. N., Zotov L. V. Peculiarities of formation of the el Niño cold phase - southern oscillation in 2020-2021 140

Marchukova O. V., Vyshkvarkova E. V. Assessment of meteorological parameter reproduction with CMIP6 generation models for the Sevastopol Region 142

Merkulov V. A., Timokhov L. A. Long-term variability of the sea level in the Arctic seas 144

Mizyuk A. I., Korotaev G. K., Belokopytov V. N., Kholod A. L. Experimental nowcasting/forecasting system of the global ocean state: structure and accuracy estimates 145

Mikhailichenko S.Yu., Kuranov D.Yu. Using the nonhydrostatic swash model to study the evolutionary dynamics of a surface wave in a model basin with a variable topography of the bottom 146

Moroz V. V., Shatilina T. A. The extreme water thermal regime forming in the South Kuril area under the atmosphere circulation variability influence 148

Artamonov Yu. V., Skripaleva E. A., Nikolskii N. V. Intra-annual variability of temperature field in the Atlantic sector of Antarctica based on NOAA OI SST reanalysis 150

Novoselova E. V., Belonenko T. V. Seasonal variability of potential vorticity in the Lofoten Basin 152

Novotryasov V. V., Lobanov V. B., Sergeev A. F., Pavlova E. P. Variability of currents velosity in Peter the Great Bay (Sea of Japan), caused by “Lionrock” typhoon 153

Osadchiev A. A. River plumes in the Russian Arctic seas 154

Pavlova A. V., Arkhipkin V. S., Myslenkov S. A. Prevailing wind directions during surges in the coastal zone of the Northern Caspian. 155

Pavlova E. A., Yulin A. V., Sheveleva T. V. Seasonal variability of sea ice age in the southwestern part of the Chukchi Sea in the autumn-winter period 157

Pavlushin A. A. Combined effect of magnitude and seasonal variability of wind stress vorticity on the large-scale circulation and mesoscale eddies dynamics in the two-layer Black Sea model 158

Pogrebnoi A. E. Geographical features and seasonal variability of the wind field over the Fram straight according to long-term data of ERA-5 re-analysis 160

Podymov I. S., Podymova T. M., Kochergin A. D. Analysis and assessment of the measurement results of suspended sediment concentration obtained during experiments in the Hannover wave channel 162

Polozok A. A., Fomina I. N. Numerical simulation of storm surges in the area of marine hydrological station Temryuk 163

Pryakhin S. S., Bashmachnikov I. L., Kozlov I. E., Petrenko L. A., Wekerle C. An effect of mesoscale eddies on sea ice processes in the Marginal Ice Zone of the Greenland Sea 165

Puzina O. S., Mizyuk A. I. Analysis of ocean currents from nowcasting/forecasting experimental system of the World Ocean 167

Repina I. A., Artamonov A. Yu., Barskov K. V., Pashkin A. D. The structure of the atmospheric boundary layer in the coastal zone of the Black Sea 168

Rudykh N. I., Rostov I. D., Dmitrieva E. V. Climatic trends in the Pacific subarctic seas and the eastern Arctic Ocean 169

Sannikov V.F. Long iternal waves generated by elliptical regions in stratified flows. 170

Saprykina Ya.V., Aydogan B., Ayat Aydogan B. Dissipation of the energy of waves breaking by different types in spectral wave models 172

Senderov M. V., Mizyuk A. I. Estimates of salt flows in the "Creation of the World" problem 173

Serebrennikov A. N. Development of the method for calculating the parameters of climatic variability of upwellings by the thermal index 175

Pososhkov V. L., Bayankina T. M., Sizov A. A., Anisimov A. E. Large-scale features of synchronous variability of winter surface temperature in the Barents and Black Seas 177

Slepyshev A. A., Nosova A.V., Rybalkina M. V. Vertical momentum transfer by inertia-gravity internal waves on the northwestern shelf of the Black Sea. 179

Sofina E. V., Kagan B. A., Timofeev A. A. Parametrization of tidal mixing in simulation of the regional climate of Barents, Kara and Laptev Seas 180

Sturova I. V., Tkacheva L. A. Influence of non-uniform compression of the ice cover on the development of wave disturbances during the movement of an external load and a submerged sphere 182

Surkova G. V. Turbulent heat exchange in the western sector of the Russian Arctic in the background of climate change 183

Sukhonos P. A. Analysis of the reemergence of the mixed layer depth anomalies in the north-eastern part of the North Atlantic in the late 2000s 185

Timofeeva A. B., Sharatunova M. V. Sea ice thickness change in the Laptev Sea since 2005 187

Ustinova E. I., Sorokin Yu. D., Basyuk E. O., Khen G. V., Matyushenko L. Yu. Ice cover of the Far-Eastern Seas in the recent period 188

Tsarev V. A., and Podrezova N. A. Bottom Density Flux Model with Bottom Pumping taking into account 190

Cheshm Siyahi V., Kudryavtsev V. N., Yurovskaya M. V. The specificities of wave generation by polar cyclones 192

Chikin A. L., Kleschenkov A. V., Chikina L. G. Modeling the flooding of the Don delta 194

Sharatunova M. V., Ivanov V. V., Timofeeva A. B., Yulin A. V. Method for long-term prediction of the boundary position of drifting and consolidated ice in the East Siberian Sea in summer 196

Shokurov M. V., Kraevskaya N. Yu. Linear and nonlinear regimes of sea breeze circulation based on the results of two-dimensional numerical simulation 198

Yakovleva D. A., Bashmachnikov I. L., Reasons of inter-annual variability of deep convection in the Irminger Sea 199

Yanina T. A. The role of the Manych Passage in the development of the Caspian basins during the Neopleistocene. 201

Iarovaia D. A., Efimov V. V. Mesoscale cyclone on September 1–3, 2015 near the New Siberian Islands: satellite data analysis and numerical simulation 203

Vlasova G., Mau Dinh Le, Marchenko S., Dung Thi Thuy Nguyen Impact of tropical cyclones forming over the South China Sea to the Far Eastern seas of Russia 205

SECTION 2

Marine observing systems: Methods, tools and results

Aleskerova A.A., Kubryakov A.A., Stanichny S.V., Mizyuk A.I. Evolution of coastal upellings in the Black Sea under the influence of dynamic factors according to satellite measurements and model calculations 207

Artamonova A. V., Kozlov I. E. Eddies in the European Arctic sector from satellite radar observations during the warm period of 2007 208

Mukhametov S. S., Arkhipkin V. S. The Barents Sea's water masses and their conditions in a climate change. 209

Atadzhanova O. A., Konik A. A., Zimin A. V., Danilov I. A., Dzhamalova A. G., Zavada D. E. Sub-mesoscale eddies in the Far Eastern seas of the Russian Federation in August 2020 according to radar imagery 211

Bakueva Y. I., Kozlov I. E. Observations of short-period internal waves in the Southern Ocean inferred from satellite SAR data 212

Baranov V. I., Zatsepin A. G., Kuklev S. B., Ocherednik V. V., Mashura V. V. Multifunctional cable-based online monitoring system at the "Gelendzhik" testing area 214

Bezgin A. A., Lunev E. G., Motyzhev S. V., Volikov M. S., Gimpilevich Yu. B., Redkina E. A., Lukyanchikov A. V. Intelligent system of operational Sevastopol freshwater sources and coastal waters monitoring 216

Bondur V. G., Dulov V. A., Murynin A. B. Validation of techniques for retrieving sea wave spectra in wide wave lengths range on satellite and in-situ data 217

Bukatov A. A., Pavlenko E. A., Solovey N. M. Influence of river runoff on the vertical structure of the waters Barents and Kara Seas 218

Vasilenko N. V., Medvedeva A. V., Kubryakov A. A., Aleskerova A. A., Stanichny S. V. Peculiarities of Black Sea waters flows into the Sea of Azov according to satellite and model data 219

Garmashov A. V., Maryushkin Yu. A., Toloknov Yu. N., Korovushkin A. I. Hydrometeorological monitoring on the stationary oceanographic platform in 2011-2020 221

Gitsba Ya. V., Ekba Ya. A. Characteristics of the hydrophysical regime of the Sukhum Bay water area 223

Gordeeva S. M., Deshova D. V. Transport of water, heat and salt through the Kara Gates Strait 225

Grekov A. N., Seleznev I. A., Korovin A. N., Trusevich V. V., Ryazanov V. A. Biological early warning system for the shallow waters of Sevastopol 226

Grigorenko K. S. Ice phenomena in the Sea of Azov in 2020-2021 228

Grigoriev A. V. Spectral and statistical characteristics of the Sea of Azov waters variability in 2014-2020 230

Grigoriev M. N., Maksimov G. T. Permafrost formation and degradation on the shelf of Russian Arctic seas 231

Gryazin D. G., Gleb K. A. Estimation of sea surface curvature using wave buoy measurements 233

Gusarov R. N. Physical modeling of tsunami waves by the method of pneumatic tsunami generator 235

Demidov A. N., Gippius F. N., Ivanov A. A., Dobrolyubov S. A., Volkova V. V. Transport of deep-sea and bottom water across the Vema fracture zone of the mid-Atlantic ridge 236

Dikarev V. A. What was the Black Sea level in the Age of Antiquity? 237

Ermoshkin A. V., Kupaev A. V., Molkov A. A. Radar studies of the sea surface in the 82th cruise of R/V "Academician Mstislav Keldysh" 239

Zhelezova E. V. Ice conditions in the Vistula lagoon according to the satellite data in 2011-2021 240

Zamshin V. V., Chvertkova O. I., Khodaeva V. N., Matrosova E. R., Shlyupikov V.A. R/V Academic Mstislav Keldysh in the Southern Ocean - a view from space 241

Zatsepin A. G., Podymov O. I. Black Sea finestructure and its relation with thermohaline anomalies and fronts 243

Zimin A. V., Svergun E. I., Lazutkina E. S., Zhegulin G. V. Intra-annual variability in internal wave characteristics near the Pacific coast of the Kamchatka peninsula and Kuril Islands according to satellite radar data 245

Zimin A. V., Rodionov A. A., Motyzhev S. V., Lunev E. G., Tolstosheev A. P. A system to monitor characteristics of hydrophysical fields in the sub-mesoscale variability interval 246

Zhuk V. R., Kubryakov A. A., Osadchiev A. A. Peculiarities of the Lena River plume distribution according to satellite measurements of salinity and level during the ice-free period 248

Zhuk E. V. Black Sea oceanographic data access interface 249

Zavyalov D. D., Solomakha T. A. Influence of the atmospheric precipitation phase composition on seasonal evolution of snow-ice cover in the northeastern part of the Taganrog Bay 251

Ivanov V. V., Brestkin S. V., Kusurov V. I., Sitnikov I. Y. Optimization of the activity and planning of marine transport operations by improving the technologies of hydrometeorological support 253

Ivanov V. V., Tuzov F. K. Formation of a dense water "dome" over the Central Bank of the Barents Sea against the reduced ice cover 254

Kozlov I. E., Mikhailichenko T. V. Estimation of short-period internal waves' phase speed in the Arctic Ocean from satellite observations and in situ measurements 256

Kolomeytsev V. V., Gorin S. L. New information about sea currents near the coast of West Kamchatka 257

Korinenko A.E., Malinovsky V.V., Dulov V.A., Kudryavysev V.N. On the generation and lifetime of wind-wave breaking 259

Korchemkina E. N., Mankovskaya E. V., Raykina A. O. Bio-optical characteristics of Black Sea surface waters in April – May 2021 261

Kruglova E. E., Myslenkov S. A. Seasonal and interannual variability of the wind wave heights in the Caspian Sea 262

Kubryakov A. A., Puzina O. S., Mizyuk A. I. Impact of cross-shelf exchange on the intensity of submesoscale dynamics in the deep part of the Black Sea 264

Kubryakova E. A., Kubryakov A. A., Bakueva. Y. I. Seasonal variability of chlorophyll a concentration according to Bio-Argo data in various regions of the Southern Ocean 266

Kudinov O. B., Suslin V. V. Profiles of optically active substances in the Sea of Azov based on direct measurements obtained in spring 2018 during the 106th cruise of R/V Professor Vodyanitsky 267

Kuznetsov S. Yu., Saprykina Ya. V. Nonlinear analysis of non-stationary fluctuations of Black Sea storminess 269

Kuzmichyova T. F. Analysis of Aqua/Terra (2000-2021), Landsat-8, Sentinel-2 satellite imagery on water filling from the south of the eastern part of the former Aral Sea 270

Latushkin A. A., Fedirko A. V., Artamonov Yu. V., Skripaleva E. A., Kudinov O. B. Features of the vertical distribution of total suspended matter and hydrological parameters in the northern part of the Black Sea according to the data obtained in expeditions on R/V Professor Vodyanitsky 272

Lishaev P. N., Kubryakov A. A., Aleskerova A. A. Spatial and temporal variability of cyanobacteria blooms in the Sea of Azov based on their automatic identification according to MODIS data 274

Matrosova E. R., Zamshin V. V., Chvertkova O. I. Multi-user interactive interpretation of sea surface satellite imagery based on the Google Earth Engine cloud platform 275

Medvedev I. P. Synoptic and mesoscale sea level oscillations in the Black Sea: seasonal and interannual variations, extreme values 277

Medvedeva A. V., Stanichny S. V., Vasilenko N. V., Aleskerova A. A., Kubryakov A. A. Marine mucilage and phytoplankton blooming in the Marmara Sea in spring and summer 279

Merkulov V. A., Makhotin M. S., Kusse-Tyuz N. A., Kuzmin S. B., Ipatov A. Yu., Karpov M. V. Oceanographic studies in the Shokalskiy Strait at the "Cape Baranova Ice Base" research station 281

Mironyuk S. G., Kovachev S. A. Main results of seismological monitoring of the western part of the Black Sea 282

Mihajlichenko T. V., Kozlov I. E. Dynamics of short-period internal waves in the Fram Strait and near the Svalbard archipelago from sequential spaceborne SAR observations 283

Mikhnevich G. S., Krek A. V., Danchenkov A. R., Krechik V. A. Features of the distribution of trace elements in the vertical section of sediments of the Gdańsk deep 284

Navrotsky V. V. Internal waves and biogeomorphological processes in the sea shelf zone 286

Nizhnikovskaya O. Yu., Ocherednik V. V., Zatsepin A. G. Use of satellite imagery for interpretation of ADCP and thermistor chain bottom station measurements at the "Gelendzhik" testing area of Shirshov Institute of Oceanology RAS 287

Novikov B. A., Kubryakov A. A., Fedorov S. V. Bathymetry reconstruction based on data from an on-board UAV camera in the coastal water area of the Black Sea 289

Novikova Yu. S., Bashmachnikov I. L. Eddies in the Lofoten Basin according to satellite altimetry data and radar and visible range imagery 291

Novitsky A. V., Kartsan I. N. Use of the satellite communication system for rapid acquisition of data from autonomous profilers 292

Pavlov M. I., Chukharev A. M., Kazakov D. A. Verification of the multiscale model and experimental studies of the Langmuir circulation. 294

Pavlushin V. A., Kubryakov A. A. Variability of the area and shape of the Bengel upwelling from satellite measurements of temperature and salinity 295

Panteleeva G. G., Kubryakov A. A., Medvedeva A. V., Aleskerova A. A., Rubakina V. A., Pavlushin V. A. Innovative thinking and practice of oceanological research 297

Pasynkov M. A., Ryazanov V. A., Kasyanenko K. A. Black Sea shelf area probation results using IST1-MA 299

Petrenko L. A., Kozlov I. E. Eddy generation in the marginal ice zone of the Fram Strait from spaceborne radar measurements 301

Plyaka P. S., Budnik A. P., Valov G. V., Gerasyuk V. S., Glushchenko G. Yu., Ivanov V. A. Phytoplankton distribution investigation using a ship flow measuring system 302

Plyaka P. S., Khoroshev O. A., Valov G.V., Ivanov V. A., Yudin A. V., Budnik A. P., Naframiytsa G. A. Ultra-small autonomous floats employed for collecting contact and visual data about the environment 304

Ponomarev V. I., Lazaryuk A. Yu., Starjinskii S. S., Kustova E. V., Kharlamov P. O., Lobanov V. B., Sergeev A. F., Marina E. N., Shkorba S. P. Variations of the vertical profile of the current velocity and wave characteristics under non-stationary atmospheric influence from measurements on the WaveScan Buoy in the southwestern shelf zone of the Peter the Great Bay in 2016 305

Rubakina V. A., Kubryakov A. A., Stanichny A. A., Mizyuk A. I. Temperature diurnal fluctuations of the Black Sea water temperature based on satellite data and numerical simulation data 307

Saprykin O. A., Nosov V. N., Spirochkin Y. K. About the technology of production of hydrogen fuel in the Black Sea 309

Svergun E. I., Zimin A. V., Lazutkina E. S., Titovskoy A. V., Kulik K. V. Variability of surface manifestations of internal waves in the Far Eastern seas of Russia on the example of August 2019 and 2020 310

Svishchev S. V. Specific features of the influence of high-frequency changes in the heat flow on oxygen vertical distribution according to Bio-Argo data in winter 2017 312

Svischev S. V., Kubryakova E. A., Kubryakov A. A., Lishaev P. N. Estimation of the impact of biological processes on the seasonal variability of oxygen concentration in the upper layer of the Black Sea according to Bio-Argo data and results of numerical modeling 314

Selyuzhenok V. V., Demchev D. M., Kessel A. S. Monitoring of stamukhas in the Russian Arctic Seas based on SAR imagery 315

Silvestrova K. P., Puzina O. S., Myslenkov S. A. Wind upwelling forecast and its comparison with the thermistor chain data in the Black Sea (Utrish Reserve) in 2020 316

Simonova Yu.V., Mayboroda S. A. Observation of coastal dynamic processes in the region of South Coast of Crimea after intense precipitation using satellite images 318

Smolyanitsky V. M., Motyzhev S. V., Smirnov K. G., Sokolov V. T., Tolstosheev A. P., Lunev E. G., Bezgin A. A. Development of a network of marine synoptic observations in the Arctic based on drifting Lagrangian buoys of Russian production 319

Sterlyadkin V. V., Kulikovsky K. V., Kuzmin A. V., Sharkov E. A., Likhacheva M. V. Practical tests of the scanning laser wave recorder 322

Tolstosheev A. P., Lunev E. G., Motyzhev S. V., Dykman V. Z. Seawater salinity estimation module based on sound velocity measurements 323

Travkin V. S., Belonenko T. V. Study of the potential and kinetic energy of the Lofoten Basin based on GLORYS12V1 reanalysis data. 325

Fedirko A. V., Artamonov Yu. V., Skripaleva E. A., Nikolsky N. V., Shapovalov R. O., Deryushkin D. V. Hydrological structure of the northern Black Sea waters in spring 2018 based on measurements from the R/V Professor Vodyanitsky 326

Fedotova A.A., Antipov N.N. Comparison of MEOP-CTD profiles to ship-based CTD measurements collected in Prydz Bay, East Antarctica 328

Filippova T. A., Vasechkina E. F. Verification of the flat oyster energy budget model 329

Khodaeva V. N., Kharchenko V. D., Zamshin V. V. Features of gas manifestation on the sea surface registered from satellite optical imagery 331

Khurchak A. P., Bagaev A. V. An experimental device for remote water sampling based on available components – Arduino microcontroller and radio module NRF24l01 332

Chubarenko B. V., Zakirov R. B., Chechko V. A. Suspended matter exchange between the Vistula Lagoon and the Baltic Sea in the context of the assessment of the lagoon sediment balance 334

Shlyupikov V. A., Zamshin V. V. Assessment of the marine significant parameters dynamics in the Atlantic Antarctic by using long-term satellite data 335

Yurovskaya M. V., Kudryavtsev V. N. Rapid assessment of wave fields in hurricanes 336

Yurovsky Yu. Yu., Kudryavtsev V. N., Grodskiy S. A., Shapron B. A radar model of wind wave breaking 338

Yasakova O. N., Litvin A. Yu. Planktonic community of the Kerch Strait in September 2020 339

SECTION 3

Sustainable use of marine environment resources

Aksenov A. O., Bolshiyanov D. Y. Lake Ladoga Holocene shorelines obtained with geomorphological profiling data 341

Alabyan A. M., Vasilenko A. N., Demidenko N. A., Krylenko I. N., Panchenko E. D., Platonov S. V., Popryadukhin A. A., Sevastyanova L.Yu. The Pechora estuary: albeit ‘micro-’ but still tidal 343

Alexandrov S.V., Semenova A.S. Ecological state of the Baltic Sea in summer periods 2018–2020 344

Artamonova K. V., Gangnus I. A. Coastal oceanographic and chemical conditions in the Prydz Bay region during Antarctic summer-autumn seasons 346

Bagaev A. V., Nikishin V. V., Rauen T. V., Verzhevskaya L. V., Ryabtsev Yu. N., Tsyganova M. V., Shcherbachenko S. V. A multi-component approach to assessing the physical and biological condition of water near urban stormwater outlets in the Sevastopol Bay 348

Barinova G. M., Ryabkova O. I., Krasnov E. V., Romanchuk A. Yu., Ushakova L. O. Types of environmental management conflicts in the coastal zone 350

Bezhin N. A., Kozlovskaya O. N., Shibetskaya Yu. G., Dovhyi I. I. New sorbent on the base of fiber impregnated by iron hydroxide (+3). 353

Bolikhovskaya N. S. Stages of climate and vegetation evolution in the Lower Volga region over the last 16 thousand years and their correlation with Caspian Sea level fluctuations 354

Bolshiyanov D. Yu., Makarov A. S., Ashik I. M. Russian Arctic Sea Coasts 358

Bortin N. N., Dyachenko K. N., Zverev A. V., Spesivtseva E. E. Morphometric features of the coastal areas of Peter the Great Bay of the Sea of Japan and possible transformation of their ecosystems based on the expected port development prospects 360

Boskachev R. V., Chubarenko B. V. Analysis of water budget in the Pregolya and Deim Rivers according to observation data of 1990-2020 362

Bukatov A. A. Revisiting the reconstruction of the flooded areas of Chersonese and its chora in Quarantine and Round bay 363

Bufetova M. V. Dependence of the concentrating ability of heavy metals by suspensions of the Sea of Azov on their concentration in water 365

Valle A. A. Analysis of the seasonal variability of hydrological and hydrochemical characteristics of the north-western Black Sea waters 366

Varenik A. V., Orekhova N. A. The assessment of the atmospheric depositions influence on the productivity of the Black Sea surface layer 368

Vasilevsky D. N., Vasilevskaya L. N., Lisina I. A. Episodes of dangerous pollution of the atmospheric air with sulfur dioxide in the coastal areas of the Primorsky Region in 2019-2020 370

Vidnichuk A. V., Konovalov S. K. Changes in the oxygen regime of the deep water part of the Black Sea according to long-term data 372

Vilkova O. Yu. Sturgeons: commercial and endangered species. Damage liability 373

Vyaliy E. A., Makarov K. N. Methods of mathematical modelling of waves in the water areas of island structures 375

Gayko L. A., Shatilina T. A., Lysenko A. V. Effect of thermal and synoptic conditions on the dynamics of the abundance humpback of the Primorye Pink Salmon (Sea of Japan, Strait of Tartary) 377

Gogoberidze G. G., Rumiantceva E. A., Kosyan R. D. Comprehensive criterion-statistical approach to sustainability assessment of local coastal systems (the case of the Krasnodar Region) 379

Gogoberidze G. G., Rumiantceva E. A., Shilin M. B. Risk assessment of the nature management in the Arctic coastal zone by matrix approach 380

Grebneva E. A. pH time variations in the deep-sea part of the Black Sea for the period from 1956 to 2020 382

Davydov A. V. Identification of cut-offs as elements of coastal systems in non-tidal seas 383

Danilova L. V. Underwater Cultural Heritage Management Challenges and the Incorporation of UCH into Maritime Spatial Planning 385

Dolgushev T. V. On the need to consider the impact of climate change in the design of marine structures 387

Diakov N. N., Lipchenko A. E., Malchenko Yu. A., Zhilyaev S. A. Current hydrological and hydrochemical conditions of the Donuzlav Bay 388

Diakov N. N., Malchenko Yu. A., Lipchenko A. E., Bobrova S. A. Hydrological and hydrochemical characteristics of Sevastopol coastal waters in 2020-2021 390

Evstigneev V. P., Eremina E. S., Ostroumova L. P. Long-term variability the Sea of Azov morphometric characteristics 392

Egorova Yu. E., Sudnik S. A. Biology of the stone shrimp, Palaemon elegans Rathke, 1837 (Decapoda, Caridea, Palaemonidae) in the south-eastern Baltic Sea, summer 2020 394

Ershova A. A., Eremina T. R., Makeeva I. N. Methodological approaches to monitoring of marine debris and microplastics in the coastal zone 396

Ershova A. A., Eremina T. R., Makeeva I. N., Pankin D. V., Krutikov I. A., Basalay E. N. Marine debris and microplastics in the western part of the Russian Arctic 398

Esiukova E. E., Lobchuk O. I., Volodina A. A., Chubarenko I. P. Role of marine macrophytes in retention of microplastic in the Baltic Sea 400

Efremova T. V., Goryachkin Yu. N. Degradation of duna landscapes on the Black Sea coast 401

Ivlieva O. V., Bespalova L. A. Seacoasts of the Rostov region and coastal protection problems 403

Istomin E. P., Martyn I. A., Mikheev V. L. Development of a mathematical model of wind waves to improve the efficiency of the operation of the seaport 405

Kileso A. V., Chubarenko B. V., Esyukova E. E. Pollution of the Kaliningrad Region coastline with geosynthetic material residues 407

Kovaleva O. A., Ryabchuk D. V., Sergeev A. Yu., Budanov L. M. Monitoring of the development of the coastal zone processes of the Eastern Gulf of Finland under impact of natural and anthropogenic processes 408

Kozlovskaya O. N., Shibetskaya Yu. G., Bezhin N. A., Dovhyi I. I. Distribution of long-lived radium isotopes in coastal and deep sea regions of the Black sea. 410

Kondratev S. I., Khoruzhii D. S. Peculiarities of vertical profiles of phosphates and silicic acid in the Black Sea according to 2016-2018 expedition survey data 411

Kotelyanets E. A., Guriv K. I., Tikhonova E. A., Kondratev S. I. Vertical distribution of heavy metals in bottom sediments of the Balaklava Bay 412

Kremenchutskii D. A., Batrakov G. F. Residence time of beryllium-7 (7Be) in the surface water of the Black Sea 414

Krivoshlyk P. N., Chubarenko I. P. Bocherikova I. Yu. Seasonal variations in the content of microplastic particles in the sands of the beach swash zone of the Vistula Spit 415

Krylenko V. V., Krylenko M. V. Origin and structure of the Elenina Bank 417

Krylenko M. V., Kosyan R. D., Krylenko V. V., Krylenko D. V. Interaction of hydrodynamic and aeolian processes in the beach area 419

Krylenko S. V. New records of alive specimen of Flexopecten glaber ponticus in the sediments of the Anapa Bay-Bar 421

Kurinnaya Yu. S., Orekhova N. A., Gurov K. I., Zabegaev I. A. Physical and chemical characteristics of bottom sediments in the Kerch Strait area 423

Lappo A. D., Danilova L. V. Maritime spatial planning as a tool to promote Black Sea Cooperation 425

Lebedeva S. V. Monitoring and study of the hydrological regime of marine estuaries in the USSR and Russia 427

Lobchuk O. I., Esyukova E. E., Kileso A. V. Pollution of beaches of the south-eastern Baltic Sea with marine anthropogenic litter in 2019-2021 429

Lukinykh A. I., Krylenko S. V. Characteristics of the vegetation composition of the abrasion coast of the northwestern part of the Black Sea coast of the Caucasus 430

Lysenko V. I. Biogeochemical processes of "carbonate hydrocarbon seepage" formation in the southwestern part of the Crimean Mountains in the late Jurassic 432

Medvedeva V. N. The partnership of science and culture, or How many seas are there on Earth? 433

Mikhnevich G. S., Krek A. V., Danchenkov A. R., Krechik V. A. Features of the distribution of trace elements in the vertical section of sediments of the Gdańsk deep 435

Ognistaya A. V. Microalgae metabolites for bacterial pollution control in coastal waters of the Sea of Japan 437

Orekhova N. A., Varenik A. V. Nutrients in the Black Sea surface water layer based on 2016-2019 data 439

Ostroumov L. V., Ostroumov M. V. Modernization of the state marine coastal observation network. Prospects, tasks and technical solutions 441

Panchenko E. D., Alabyan A. M. Flow resistance in small tidal estuaries of the White Sea 443

Petrov K. M. Analysis of the landscape-forming role of natural components in the coastal area and on the shelf 445

Pogojeva M. P., Yakushev E. V., Berezina A., Zhdanov I. Distribution of floating marine macrolitter in relation to oceanographic characteristics in the Russian Arctic Seas in October 2020 446

Gogoberidze G., Shilin M., Rumiantceva E. Gradations of classification features of the nature management risks in the Arctic coastal zone. 448

Sanin A. Yu. On the issue of environmental management of the coastal territories of the Russian Federation 450

Svetasheva D. R., Stolnikova N. V., Kuzin A.V. Identification of oil pollution in the north-western part of the Caspian Sea. 452

Semkin P. Yu., Tishchenko P. Ya., Charkin A. N., Pavlova G. Yu., Anisimova E. V., Barabanshchikov Yu. A., Tishchenko P. P., Shvetsova M. G. Radium isotopes and nutrients in the estuary of the Razdolnaya River (Amur Bay, Sea of Japan) during summer flood 454

Sergin S. Ya. Cosmo-chemical origin of water and ocean on the earliest Earth 456

Sergin S. Ya., Tsai S. N., Shapovalova A. S. Recreational climatic conditions of the coastal zone of the Black and Azov Seas 457

Slepchuk K. A., Minkovskaya R. Ya., Antonenkov D. A., Chepyzhenko A. I. Assessment of exchange processes in marine estuaries using field data (the case of the Chernaya River mouth) 458

Slukovskii Z. I., Belkina N. A., Potakhin M. S. Geochemistry of recent sediments of the Vygozerskoe Reservoir, the catchment area of the White Sea (Arctic zone of Russia) 460

Sovga E. E., Eremina E. S. Salinity of the Southern Sivash after the North-Crimean canal closure 461

Sovga E. E., Mezentseva I. V., Khmara T. V. Differences in the self-purifying capacity of the Sevastopol Bay ecosystems in relation to reduced nitrogen forms 464

Stepanchuk Yu. V. The role of the research vessel Vityaz in international ocean research (1949-1979) 465

Stolnikova N. V., Gontovaya I. V., Svetasheva D. R. Influence of hydrometeorological conditions on the distribution of heavy metals in the Northern Caspian Sea 467

Stolnikova N. V., Gontovaya I. V., Svetasheva D. R. Influence of hydrometeorological conditions on the distribution of heavy metals in the Northern Caspian Sea. 470

Sushkevich T. A., Strelkov S. A., Maksakova S. V. "The future of the Earth": the global radiation field – an "intangible" component of the climate system and "the ocean-dictator". To the 110th anniversary of M.V. Keldysh's birth 472

Terentev A. S., Semik A. M. Zoobenthos community of the coastal part of Donuzlav Lake. 473

Tlyavlin R. M., Tlyavlina G. V. Some issues of the influence of hydraulic structures on the ecological environment in the offshore zone of the seas 475

Tlyavlina G. V. Elaboration of the national standard GOST R "Physical modeling of wave impacts on port hydraulic structures. Requirements for building a model, conducting experiments, and processing results" 477

Udovik V. F. Assessing the risks of Western Crimea beach degradation as a result of large-scale coastal reinforcement projects 479

Usenkov S. M. Bottom sediments as indicators of aquatic systems contamination 480

Fazlullin S. M. Threats to underwater historical and cultural legacy sites 481

Khatmullina L. I., Chubarenko I. P. Thin synthetic fibers settling in stationary and convectively mixed water 482

Chubarenko I. P., Esiukova E. E., Zobkov M. B., Isachenko I. A. Microplastics distribution in bottom sediments of the Baltic Sea 484

Shelushinin Y. A. Scale distortion in physical modeling of waves impact on hydraulic structures 486

Shibetskaya Yu. G., Bezhin N. A., Kremenchutskii D. A., Dovhyi I. I. Concentrating thorium-234 from seawater to study suspended organic carbon flows 487

Shik N. V. Makarov`s fluctometer: a device which began the science of straits 487

El N. Yu. Saving the World Ocean from pollution is a global challenge of today 489

Yaroslavtsev N. A. Lithodynamic systems of the east coast of South Sakhalin 491

Sergin S.Ya. Cosmo-chemical origin of water and ocean on the earliest Earth 493

List of organizations 495

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ГРАВИТАЦИОННЫЕ И ИНФРАГРАВИТАЦИОННЫЕ МОРСКИЕ ВОЛНЫ

Долгих Г.И.

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
dolgikh@poi.dvo.ru

Ключевые слова: гравитационные волны, инфрагравитационные волны.

В докладе рассмотрены особенности возникновения, развития и трансформации на границе геосфер гравитационных и инфрагравитационных морских волн. Анализируются результаты обработки экспериментальных данных диапазона поверхностных гравитационных морских ветровых волн (2–20 с) и инфрагравитационных морских волн (30 с – 10 мин), полученных на лазерном измерителе вариаций гидросферного давления.

В ходе анализа изучена связь вариаций основных периодов гравитационных морских волн с дисперсией и эффектом Доплера, вариациями скорости и направления ветра в зоне действия тайфунов. При совместном анализе вариаций гидросферного давления диапазонов гравитационных и инфрагравитационных морских волн изучены их энергетические отношения, определены региональные инфрагравитационные морские волны, вносящие существенный вклад в энергию инфрагравитационного диапазона. Приведены записи лазерного измерителя вариаций гидросферного давления при регистрации квазигармонического пакета уединённых морских волн значительной амплитуды, по своим характеристикам относящихся к волнам-убийцам.

При обработке большого массива данных по вариациям гидросферного давления, полученных с помощью лазерных измерителей вариаций гидросферного давления, установленных в раз-

личных точках шельфа Японского моря, обнаружено, что поверхностные ветровые волны и зыбь в окрестностях мыса Шульца Японского моря усиливают амплитуды инфрагравитационных волн с периодами от 20 до 300 с. При этом установлено, что чем сильнее меняются амплитуды ветровых волн и зыби, тем сильнее возрастают амплитуды инфрагравитационных волн. Данные инфрагравитационные волны имеют устойчивую дискретную структуру и их периоды практически не меняются со временем, не зависят от периодов породивших их волн, и не модулируются приливно-отливными колебаниями. В то же время обнаружено, что инфрагравитационные волны в бухте Витязь имеют в своей спектральной структуре боковые максимумы, обусловленные модуляционным воздействием сейш бухты Витязь. Исследовано нелинейное поведение ветровых волн, связанное с взаимодействием ветровых волн с более низкочастотными волновыми процессами – двенадцатичасовыми и двадцатичетырёхчасовыми приливами и сейшами. Рассмотрено модуляционное воздействие приливных и сейшевых колебаний на ветровые волны и волны зыби. При этом выделенные «двухтоновая» и «четырёхтоновая» модуляции хорошо описываются с помощью обычного уравнения частотной модуляции. Описан принцип определения периодов низкочастотных волновых процессов по спектрам ветрового волнения и зыби.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, грант №18-05-80011.

БУДУЩЕЕ ДРЕЙФУЮЩИХ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ СТАНЦИЙ

Макаров А.С.

ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
makarov@aari.ru

Ключевые слова: Арктика, многолетние льды, ледостойкая самодвижущаяся платформа.

В последние десятилетия в Арктике произошли значительные климатические изменения. Все чаще стала проявляться экстремальность погодных явлений: увеличиваются максимумы и минимумы температуры, более часто происходят резкие перепады температуры и давления воздуха, увеличивается количество разовых выпадений осадков, более часто наблюдаются штормовые ветры и пр. Это привело к уменьшению толщины льда и сокращению площади арктических льдов. Изменения климата вызвали существенные изменения в термохалинной структуры вод Арктического бассейна и арктических морей. С 1987–1989 гг. началось повышение температуры атлантических вод в СЛО, которое в отдельных районах значительно превысило значения за весь исторический с 1887 г. период наблюдений.

Количество многолетних льдов толщиной 2–3 м, пригодных для организации дрейфующих станций, существенно уменьшилось. Динамические процессы в ледяном покрове стали более интенсивными, существенно увеличилась вероятность разломов льдин, на которых располагаются дрейфующие станции. Остро встали вопросы о безопасности работы полярников на подобных дрейфующих льдах, утраты дорогостоящего оборудования и экологического ущерба природной среде. С 2003 г. по 2010 г. потребовалась организация досрочной эвакуации СП-32, СП-34, СП-35, СП-37 и СП-40. Организация новых дрейфующих станций действующих станций в годовом цикле стала не возможна.

В настоящий момент ведется строительство ледостойкой самодвижущейся платформы с высокой прочностью корпуса, с автономностью по запасам топлива 2 года и сроком службы – не менее 25 лет, штатом научного персонала до 34 человека – базы будущих дрейфующих научно-исследовательских станций «Северный полюс» – как форпоста российской науки в высоких широтах Арктики.

Наряду с традиционным комплексом исследований создание ледостойкой самодвижущейся платформы позволит расширить спектр исследований и наблюдений в области: ионосферных наблюдений – на основе приемной станции наклонного зондирования ионосферы (современный цифровой ионозонд нового поколения с линейно-частотной модуляцией, ЛЧМ комплекс), пред-

назначенную для оперативной диагностики условий распространения КВ радиоволн внутри северной полярной шапки; геологических исследований – на основе пробоотборного комплекса для использования поршневых грунтовых труб и драг, мокрых и аналитических лабораторий, кернохранилища проводить расширенный комплекс геологических исследований осадочного слоя малоизученных труднодоступных районов Арктического бассейна; химических и экологических исследований – на основе аналитических комплексов, позволяющих выполнять высокоточный анализ содержания загрязняющих веществ, взвесей, газов, абиотических загрязнителей содержащихся в пробах воды, воздуха, льда, донных осадках; исследований ледовых нагрузок и механики разрушения льда – не проводившиеся ранее исследования механики деформаций и разрушения морского льда с целью совершенствования методов расчета локальных и глобальных ледовых нагрузок на суда и другие инженерные сооружения; акустической томографии Арктического бассейна – слежение (мониторинг) за состоянием гидрофизических полей Северного Ледовитого океана; исследование пограничного слоя и свободной атмосферы в центральной Арктике – на основе усвоения данных о структуре пограничного слоя и свободной атмосферы, полученных с помощью аэростатных и самолетных (беспилотники) измерительных систем, совершенствование метода регионального долгосрочного и краткосрочного прогноза погоды; магнитных и гравитационных исследований – проведение наблюдений для уточнения магнитных и гравитационных полей (карт) в высокоширотной Арктике на основе современных магнитных и гравитационных регистрирующих комплексов и др.

Ледостойкая самодвижущаяся платформа – это судно нового типа, призванное явиться базой для обеспечения современных наблюдений и исследований среди дрейфующих льдов Центральной Арктики. ЛСП будет базой, где ученые и специалисты комфортно живут и работают, мощная энергетическая установка обеспечит значительно больший объем исследований (в области геологии, геофизики, акустики), чем это можно было реализовать на классических дрейфующих станциях, возможность хранить и использовать большие объемы топлива обеспечат сохранность природной среды.

Квинтэссенцией работы ЛСП должно стать объединение ее с обсерваториями ААНИИ Росгидромета в единую Арктическую пространственно-распределенную обсерваторию, объединяющую научно-исследовательский стационар «Ледовая база Мыс Баранова», Российский научный центр на архипелаге Шпицберген, гидрометеорологическую обсерваторию Тикси и, работающей по единой программе наблюдений.

ОСНОВНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ В ЮЖНЫХ МОРЯХ РОССИИ В XXI ВЕКЕ

Матишов Г.Г.[1,2], Степаньян О.В.[1], Григоренко К.С.[1]

[1]ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия
[2]ММБИ, г. Мурманск, Россия

Исследование климатической изменчивости в Приазовье и на Нижнем Дону требует комплексного подхода с целью определения будущих тенденций [1]. Точность прогноза погоды и предстоящих изменений климата зависит от полноты физико-географических данных и продолжительности наблюдений за изменчивостью среды. Для описания современных климатических изменений собраны данные натурных наблюдений, полученные сотрудниками Южного научного центра Российской академии наук (ЮНЦ РАН) в 2000–2020 гг. Регулярный мониторинг водного режима и колебаний уровня воды от южной части дельты Дона до взморья Таганрогского залива Азовского моря осуществлялся на установках сети уровнемеров и автоматических гидрометеостанций. С 2016 г. проводится планомерное бурение на побережье Таганрогского залива, в частности на Очаковской, Чумбурской, Беглицкой и Долгой косах [2]. В прибрежных районах моря колонки донных осадков отобраны гравитационной трубкой с научно-исследовательских судов «Денеб» и «Профессор Панов», а также вибрационной трубкой с несамоходного понтона. Климатическая изменчивость в зимние сезоны 1884–2020 гг. оценена по историческим рядам наблюдений за температурой воздуха на гидрометеостанциях в Таганроге, Геническе, Керчи, которые территориально характеризуют восточную, западную и южную части Приазовья. Эти данные взяты с сайта Всероссийского НИИ гидроме-

теорологической информации (meteo.ru), из климатического атласа Азовского моря [3] и других литературных источников [4–6]. Анализ закономерных черт физико-географических процессов в Азово-Донском бассейне начиная с конца атлантического – начала суббореального периода (около 5500–4000 календарных лет назад) и климатических тенденций в современный период дает основания для общих реконструкций. В Приазовье растительный покров и климат не оставались постоянными на протяжении последних тысячелетий [2, 7, 8]. Вторая половина голоцена включала в себя четыре относительно прохладные и гумидные (5500–4000, 3200–2500, 1800–1500, 650–150 календарных лет назад) и три более теплые и сухие фазы (4000–3200, 2500–1800, 1500–650 календарных лет назад). Активное почвообразование происходило в атлантическое (~6–5,5 тыс. лет назад) и суббореальное (4,5–2,5 тыс. лет назад) время.

Существенно дополнили представления о палеоклимате Азовского моря данные бурения на косе Долгой в 2019–2020 гг. [2]. Суммируя новые литостратиграфические данные по скважинам бурения, новые датировки абсолютного возраста пластов ракушечных отложений возможно детально проанализировать и изобразить графически историю формирования песчаной косы.

Основная часть аккумулятивного тела косы была образована в интервале времени от 1920 ± 110 (ЛУ-9756) до 2500 ± 150 (ЛУ-9757) лет, во время нимфейской трансгрессии [2]. Большая часть органогенного материала представлена створками раковин и детритом моллюсков рода *Cerastoderma* Poli, 1795 (более 95 %). На ритмику развития косы указывают шесть генераций древних береговых валов. В целом нимфейская трансгрессия ассоциируется с накоплением отложений новоазовского возраста (от 3,1 тыс. л. н. до настоящего времени), которые имеют повсеместное распространение. Современную литодинамику отражает шестая стадия развития косы.

С 1890 по 2000 г. прослеживалась устойчивая тенденция уменьшения длины оконечности косы Долгой. Этот процесс интенсивно происходил с 1890 по 1958 г., когда протяженность косы уменьшилась на 1,35 км, и продолжается в настоящее время.

За последние две тысячи лет в районе Черного моря отмечено более 20 очень суровых зим. Временной интервал между ними составляет в большинстве случаев от 60 до 90 лет [9]. За более чем 130 лет наблюдений основная доля суровых зим (более трети) пришлась на конец XIX – начало XX века, а теплых – на

начало XXI века. Можно выделить условно «холодный» (до середины 1940-х гг.) и «теплый» (с середины 1980-х гг.) периоды. Их разделяет переходный этап с достаточно резкими колебаниями температур по годам. Для всех периодов в Приазовье характерно чередование суровых и теплых зим.

Самая суровая и снежная зима за более чем 130 лет наблюдений в Приазовье была в 1953–1954 гг. Ее по праву называют «зимой века». На азовском побережье тогда средняя температура воздуха составила −9 °С. На Южном берегу Крыма морозы держались три месяца подряд, среднемесячная температура февраля была на 10–12 °С ниже нормы, в Ялте высота снежного покрова в этот период превышала 30 см. Полностью замерзло Азовское море и северная часть Черного моря, через Керченский пролив было открыто устойчивое автомобильное сообщение [9]. В XXI веке зимы со льдом в Таганрогском заливе в большинстве случаев длились около 50 дней. Максимум ледовитости – 74 дня – зафиксирован зимой 2016–2017 гг.

Самая теплая зима в рассматриваемый период – 1965–1966 гг., со средней температурой воздуха +3,3 °С – пришлась на переходный этап. Второй по тепловому рангу стала зима 2019–2020 гг. В ближайшие два десятилетия можно ожидать наступления следующего переходного этапа с резкими межгодовыми колебаниями температур, с чередованием теплых и суровых зим.

В XXI веке Приазовье находится в условиях аридизации климата: дефицита водных ресурсов, отсутствия половодья, исключительно большого испарения [10, 11]. Засуха обычно вызывается устойчивыми антициклонами и сильными восточными ветрами (суховеями). В период 1884–2020 гг. число сильных пыльных бурь в Ростовской области составило более 20 [11]. За последние 20 лет сильные пыльные бури наблюдались в этом регионе в 2015 и 2020 гг.

В 1884–2020 гг. водный режим Дона изменялся с определенной цикличностью. Анализ максимальных среднемесячных расходов воды в р. Дон у ст. Раздорской позволил выделить периоды: I – 1884–1942 гг. (3200 м^3/с); II – 1942–1985 гг. (1200 м^3/с); III – 1986–2020 гг. (1000 м^3/с). Средние минимальные расходы воды по периодам: I – 400 м^3/с, II и III – 325–335 м^3/с.

С 1952 г. речной сток зарегулирован Цимлянской плотиной. Минимально гарантированный судоходный попуск – 340 м^3/с. После зарегулирования реки сброс воды объемом в 30 км^3 являлся оптимальным (в расчет при проектировании были взяты самые водные годы XX столетия, в частности 1941–1942 гг., когда

у ст. Раздорской максимальные расходы воды достигали 6300–9300 м^3/с [10, 11]. В многоводный период сток Дона достигал 52 км^3. В маловодные годы изъятие для нужд Цимлянского водохранилища речной воды составляет примерно 1/12 части (24 км^3) от объема воды Азовского моря, что приводит к усилению черноморской адвекции в этот водоем [10]. Сегодня сток Дона во все двенадцать месяцев года соответствует минимальным историческим запасам. К маловодным годам отнесены 2009, 2011, 2014, 2015 и 2020 гг. В 2015 г. объем половодья на Цимлянском водохранилище не превысил величины 4 км^3 (35 % от нормы), а максимальный расход – 790 м^3/с (четверть нормы). В 2020 г. среднегодовой расход воды р. Дон у ст. Раздорской – составил 316 м^3/с, в ноябре минимальный расход – 280 м^3/с.

Современные представления о климате складываются путем статистической обработки результатов метеорологических наблюдений за многолетний период. Если климат цикличен, динамика температуры воздуха и расходы воды в Дону цикличны, то по аналогии логично сделать прогноз гидрометеопараметров на будущее. Однако в XXI веке только этого мало. Объективно выявить тенденции развития будущего климата можно с учетом анализа палеоклимата голоцена, опираясь на данные бурения, исторические и архивные источники. Реальные природные явления, безусловно, должны закладываться в модели с учетом палеогеографических закономерностей последних тысячелетий.

На протяжении XVI–XVII веков в Причерноморье и Приазовье имел место малый ледниковый период. В течение последних полутора веков в регионе Азово-Донского бассейна циклы колебания средних температур воздуха зимой и водного режима были синхронны. На рубеже XX и XXI веков начали преобладать засушливые годы, сопровождаемые маловодьем и засухой, то есть происходит опустынивание, сокращение запасов воды в бассейне р. Дон и осолонение Азовского моря.

Подводя итоги исследования траектории развития природных явлений во второй половине голоцена, а также опираясь на внутривековые метеорологические закономерности, приходим к выводу, что в ближайшие два десятилетия в регионе Азовского моря и Нижнего Дона установится метеорологический режим климата переходного этапа, охарактеризованный выше: с резкими межгодовыми колебаниями температур, с чередованием теплых и суровых зим.

1. Матишов Г.Г., Дашкевич Л.В., Титов В.В., Кириллова Е.Э. Анализ внутривековой природной изменчивости в Приазовье и на Нижнем Дону: причина маловодья // Наука юга России. 2021. Т. 17. №1. С. 13 – 23.

2. Матишов Г.Г., Польшин В.В., Титов В.В. Исследования отложений кос Азовского моря (на примере косы Долгой) // Океанология. 2020. Т. 60. № 1. С. 158–161.

3. Climatic Atlas of the Sea of Azov. 2008. NOAA Atlas NESDIS 65, Washington, D.C., U.S. Government Printing Office: 148 p.

4. Книпович Н.М. Гидрологические исследования в Азовском море. Труды Азово-Черноморской научно-промысловой экспедиции. Вып. 5. М., Мособлполиграф 1932: 495 с.

5. Основные гидрометеорологические сведения о морях СССР. Т. 3: Азовское море, Вып. 4: Метеорологические данные прибрежной полосы. 1940. Л. – М., Гидрометеоиздат: 438 с.

6. Гидрометеорологический справочник Азовского моря. 1962. Л., Гидрометеоиздат: 856 с.

7. Матишов Г.Г., Титов В.В., Ковалева Г.В., Польшин В.В., Дюжова К.В., Байгушева В.С., Зайцев А.В., Ильина Л.П., Нестерук Г.В., Сушко К.С., Тимонина Г.И., Куршаков С.В., Невидомская Д.Г. / Палеогеография Приазовья в голоцене. Ростов н/Д, изд-во ЮНЦ РАН. 2019: 224 с.

8. Матишов Г.Г., Ковалева Г.В., Арсланов Х.А., Дюжова К.В., Польшин В.В., Золотарева А.Е. Результаты радиоуглеродного датирования голоценовых отложений Азовского моря // *Доклады Академии наук.* 2018. Т. 479. № 6. С. 655–658.

9. Гришин М.Г. Ледниковые периоды и аномальные зимы на побережье Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2012. Т. 26 с. 1. С. 134–146.

10. Матишов Г.Г. Климат, водные ресурсы и реконструкция гидротехнических сооружений с учетом интересов населения, рыболовства и сельского хозяйства, судоходства и энергетики. Доклад на расширенном заседании Президиума ЮНЦ РАН (г. Ростов-на-Дону, 25 мая 2016 г.). 2016. Ростов н/Д, изд-во ЮНЦ РАН: 64 с.

11. Панов В.Д., Лурье П.М., Ларионов Ю.А. Климат Ростовской области: вчера, сегодня, завтра. 2006. Ростов н/Д, Донской издательский дом: 488 с.

АНТРОПОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В БИОСФЕРЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА МОРСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Моисеенко Т.И.

ГЕОХИ РАН, г. Москва, Россия
moiseenko.ti@gmail.com

Ключевые слова: морские экосистемы, антропогенные процессы, биогеохимические циклы, биосфера.

Современные масштабы влияния человеческой деятельности на биогеохимические циклы огромны. В.И. Вернадский (1989) в начале прошлого столетия отмечал, что человеческая деятельность резким и радикальным образом изменяет течение естественных процессов и преображает то, что мы называем законами природы. Актуальной задачей современности стало понимание – каким образом антропогенные прямые воздействия и опосредованные эффекты повлияют на эволюцию органического мира и биосферы в целом? Прошлое в индустриальной деятельности на планете не столь длительно, чтобы в настоящий момент можно было бы предсказать все сценарии антропогенной эволюции биосферы и ее элементов в будущем. Тем не менее – основные катастрофы и адаптация выживших организмов в прошлом, их поведение в кризисных ситуациях может дать нам ответы для прогноза будущих сценариев, в свою очередь, настоящее – дает ключ к пониманию механизмов изменчивости биосферы в прошлом.

В докладе приводится анализ данных о современных потоках поступления элементов и веществ в биосферу, ключевых антропогенно-индуцированных процессах и примеры их влияния на морские экосистемы. Приводятся данные о потоках углерода в современную эпоху закисления верхних слоев морских вод, поступлении о обогащении природных сред металлами и биогеохимическом круговороте ртути в атмосфере и морских экосистемах; накоплении стойких органических веществ, объемах нарастания биогенных элементов и аналогах последствий высокого обогащения вод в прошлом, как следствие извержения вулканов; глобальных потоках азота, как элемента, стимулирующего эвтрофирование, закисление водосборов и образование токсичных нитрозаминов в морях.

На основе аналогов прошлого обосновывается предположение о возможных последствиях развивающихся антропогенно-индуцированных явлений в глобальной и региональной шкалах. На биосферном уровне эффекты проявляются вследствие: прогрессирующего накопления и обогащения биосферы как природными элементами, так и синтезированными токсичными органическими веществами; сопряженного влияния ряда факторов, которые накрадываясь друг на друга могут усиливать или нивелировать действие каждого из них; каскадного и разветвленного развития процессов, когда выброшенный или постоянно поступающий поток элементов и веществ в биосферу приводит к развитию последовательных или параллельных процессов в природных средах с непредсказуемыми отдаленными и побочными эффектами для биотического круговорота элементов и веществ.

Приводятся доказательства, что органический мир реагирует на антропогенные преобразования активными микроэволюционными процессами. Исторически выработанные механизмы поддержания гомеостаза, такие как активация ферментов, осуществляющих в организме биотрансформацию и коньюгацию органических ксенобиотиков, продуцирование белков теплового шока или специфических белков – металлотионенинов, с помощью которых осуществляется детоксикация и выведение металлов из организма, и многие другие механизмы противодействия токсичных веществ выработаны организмами в процессе переживания кризисных ситуаций, которые в прошлом не раз происходили на Планете.

На примере заливов и эстуариевпоказано, что в условиях загрязнения токсичными веществами, с одной стороны, будет происходить потеря генетического разнообразия и накопление рецессивных мутаций; с другой — высокие концентрации загрязняющих веществ будут являться фактором селекции, которая направлена на отбор наиболее устойчивых генотипов, что неизбежно отразится на генетическом пуле. Редукция генетического разнообразия увеличивает устойчивость к определенному виду токсиканта, но снижает адаптивные возможности в целом популяций животных к другим стрессовым условиям.

Эволюция биогеохимических циклов будет протекать в дальнейшем, насколько катастрофично – зависит от нашей деятельности. Развитие природоохранных без- и малоотходных технологий с учетом научно-обоснованных критических нагрузок на биосферу и ее экосистемы, реабилитация нарушенных территорий и акваторий – ключевое направление в сохранении жизнеобеспечивающих условий нашей Планеты.

СИСТЕМНЫЕ ЭКОЛОГО-СОЦИО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЛОГО МОРЯ И ВОДОСБОРА

Филатов Н.Н.[1], Дружинин П.В.[2], Меншуткин В.В.[3]

[1]ИВПС КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, Россия
[2]ИЭ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, Россия,
[3]ИПРЭ РАН, г. Санкт-Петербург, Россия
nfilatov@rambler.ru

Ключевые слова: экосистема, водосбор, моделирование, климат, прогноз, Арктика.

Для оценки возможностей устойчивого развития региона Белого моря и водосбора (Беломорье), в который входит 6 субъектов Российской Федерации, расположенных в Арктической зоне РФ, рассматривается состояние и изменения окружающей среды, климата, экономики, социальной сферы региона за последние 30 лет. Для социо-эколого-экономической системы Белого моря и водосбора разработаны когнитивные модели, которые включали более 20 переменных, характеризующих экономику, экологические и социальные процессы, а также состояние экосистем Белого моря. Разрабатываемые когнитивные модели дают возможность на качественном уровне подойти к решению проблемы оптимального управления развитием регионов бассейна Белого моря (Меншуткин и др. 2018; Меншуткин, Филатов, 2021).

Обосновано несколько сценариев развития экономики регионов водосборов Белого моря на основе производственных функций и функций загрязнения, что позволяет исследовать различные варианты экологической и инвестиционной политик. С использованием когнитивных моделей показаны возможности оптимального управления эколого-социо-экономической системой водоем-водосбор Беломорья (Меншуткин, Филатов, 2020). На когнитивной модели были выполнены 10 экспериментов с разными сценариями развития климата, экономики. Для каждого сценария

определены режимы управления, обеспечивающие наиболее высокий уровень жизни населения. На основе созданной информационной системы, разработанных математических моделей оценено влияние климатических изменений на экономику региона, энергетику, рыбное хозяйство и лесной сектор, способствующих улучшению проживания населения региона.

Исследования выполнены в рамках гранта РФФИ «Фундаментальные проблемы природной и социальной среды Белого моря и водосбора: состояние и возможные изменения при разных сценариях изменений климата и экономики» «Арктика» № 18-05-60296.

СЕКЦИЯ 1
«ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ МОРСКОЙ СРЕДЫ»

ОЦЕНКА ПЛОЩАДИ ЗОН МОРСКОГО ЛЬДА В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ, НЕОПРЕДЕЛЯЕМЫХ МЕТОДАМИ СПУТНИКОВОЙ МИКРОВОЛНОВОЙ РАДИОМЕТРИИ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Алексеева Т.А.[1, 2], Соколова Ю.В.[1,2], Тихонов В.В.[2,3], Смоляницкий В.М.[1], Афанасьева Е.В.[1], Раев М.Д.[2], Шарков Е.А.[2]

[1]ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
taa@aari.ru
[2]ИКИ РАН, г. Москва, Россия
[3]ИВЭП СО РАН РАН, г. Барнаул, Россия

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, спутниковая микроволновая радиометрия, площадь льда, сплоченность льда, разрушенность, загрязненность.

В период интенсивного таяния алгоритмы, рассчитывающие сплоченность морского льда по данным спутниковой микроволновой радиометрии, могут не идентифицировать обширные зоны дрейфующих льдов. На основе дешифрирования космических снимков в видимом диапазоне и данных ледовой авиаразведки определен комплекс причин, влияющих на образование этих зон. Среди них:

1. Высокая стадия разрушенности характеризуется большим количеством снежниц на поверхности льда, что приводит существенному занижению сплоченности морского льда.

2. В период таяния ледяного покрова происходит уменьшение сплоченности морского льда, а также распад сморозей, вследствие чего уменьшаются размеры ледяных полей.

3. В шельфовых морях в районах устьев рек в течение зимнего сезона формируются льды, сильно загрязненные терригенными осадками, выносимыми речными водами. Грязная поверхность таких льдов становится видимой в летний период при стаивании снежного покрова. Сплоченность загрязненных льдов плохо определяется методами спутниковой микроволновой радиометрии.

В работе рассматривается влияние разрушенности, сплоченности, размеров ледяных полей и загрязненности льда, а также метеорологических факторов в Северном Ледовитом океане в летний период на определение общей площади ледяного покрова с помощью алгоритма ASI. Исследования показали, что площадь зон морского льда неопределяемых по данным спутниковых микроволновых радиометров, в разные годы может изменяться от 6 % до 23 % от общей площади ледяного покрова в Арктике.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТЫХ СВОЙСТВ МОРСКОГО ЛЬДА И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Андреев О.М., Скутин А.А., Гудошников Ю.П.

ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
andoleg@aari.ru

Ключевые слова: морской лед, предел прочности льда, температура, соленость, структура льда, термодинамика.

Хозяйственное освоение побережья и шельфовой зоны арктических морей сопряжено с активным развитием гидротехнического строительства. Проектирование и строительство гидротехнических сооружений требует корректного учета нагрузок и воздействий на него от окружающей природной среды, в частности от морского льда. При современных методах расчета нагрузок требуются оценки толщины льда, а также физико-механических (прочностных) характеристик льда (пределы прочности льда на одноосное сжатие и на изгиб). Для оценки прочностных свойств льда используются изложенные в руководящих документах (СП или ISO) достаточно простые прямые или косвенные методы.

Прямые методы требуют проведения дорогостоящих экспериментальных определений необходимых прочностных характеристик льда. При этом важным моментом являются временные рамки проведения таких наблюдений (внутригодовые и многолетние).

Косвенные методы позволяют проводить расчеты на разные временные промежутки, причем в качестве исходной информации могут выступать как наблюденные характеристики льда, так и их расчетные значения. Таким образом, оценка прочности морского льда определяется для каждого типа деформации в зависимости от характеристик льда (структура, соленость, температура и плотность).

Наиболее простым и эффективным способом получения необходимых расчетных характеристик льда является метод термодинамического моделирования. Однако расчет физико-механических свойств льда, основанный на изложенных в руководящих документах методиках, на остается весьма нетривиальной задачей.

Так методика из документа ISO требует сведений об определенной экспериментально плотности льда и не работает для льдов распресненных и пресных акваторий. Методика из документа СП сведена к «ручному» выбору значений прочностей льда (по значениям температуры и солености) из приведенных в ней таблиц.

Существуют и другие отечественные и зарубежные методы расчета прочностных свойств льда, каждый из которых, так или иначе, не может быть заложен в термодинамическую модель. Все это требует отыскания простых зависимостей, внедрение которых (в виде формул) в термодинамическую модель позволит получать расчетные оценки искомых прочностных характеристик льда с высокой степенью точности.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ ИОННО-СОЛЕВОГО СОСТАВА НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОД МОРСКИХ АКВАТОРИЙ И ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ

Андрулионис Н.Ю., Завьялов П.О., Ижицкий А.С., Осадчиев А.А.

ИО РАН, г. Москва, Россия
natalya@ocean.ru

Ключевые слова: Соленость, плотность, ионно-солевой состав, морская вода, уравнения состояния.

Ионно-солевой состав вод является важной гидрохимической характеристикой соленого водоема, он имеет существенное значение при хозяйственном использовании воды, играет важную

роль в формировании условий функционирования экосистемы. Учет химического состава также необходим при определениях солености воды, поскольку ее измерение стандартным океанологическим оборудованием по электропроводности в водах с соотношением ионов отличным от океанического приводит к большим ошибкам. Одной из важнейших физических характеристик вод морей и озер является плотность, горизонтальное и вертикальное распределения которой в значительной степени определяет циркуляцию водоема. Плотность морской воды обычно вычисляют по формулам зависимости от температуры, солености и давления, то есть по уравнению состояния. Однако существующие уравнения состояния (EOS-80, TEOS-10) не могут быть применены ко многим водоемам и акваториям мира, вследствие влияния местных вариаций ионного состава воды.

В данной работе исследованы основные ионные составы вод некоторых внутренних морей и акваторий (Черного, Азовского, Каспийского, Карского), а также озер (Аральского моря, Мертвого моря, озера Иссык-Куль). В лабораторных измерениях значения солености и плотности вод в образцах получены методами, не требующими никаких априорных предположений об ионно-солевом составе (сумма солей для солености, вибрационная денситометрия для плотности). Показано, что изменчивость ионного состава оказывает существенное влияние как на физические свойства вод, так и на ошибки их измерения при традиционных CTD зондированиях.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСАДКОВ И ИНТЕНСИВНОЙ АТМОСФЕРНОЙ КОНВЕКЦИИ НАД ЧЕРНЫМ МОРЕМ

Анисимов А.Е.[1], Ефимов В.В.[1], Львова М.В.[2]

[1]МГИ, г. Севастополь, Россия
[2]ГГО, г. Санкт-Петербург, Россия
anatolii.anisimov @mhi-ras.ru

Ключевые слова: WRF, конвекция, экстремальные осадки, радиолокационные наблюдения.

В работе рассмотрены результаты численных экспериментов по моделированию случая интенсивной атмосферной конвекции над акваторией Черного моря 6–7 сентября 2018 г. В течение двух

дней над морской акваторией и в некоторых прибрежных областях наблюдались смерчи и очень сильные атмосферные осадки. С целью анализа физических механизмов формирования экстремальных осадков и оценки параметров конвекции выполнено численное моделирование атмосферной циркуляции по модели *WRF* (*Weather Research and Forecasting*) с конвективно-разрешающими шагами по пространству в 2,7 км (для всего Черноморского региона) и 0,9 км (для территории Крыма). В качестве входных использовались данные оперативного анализа Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (*ECMWF*) с разрешением ~10 км, что позволило не использовать схему параметризации атмосферной конвекции, воспроизводя ее явно. С целью выбора оптимальной конфигурации модели было выполнено 5 расчетов с различными схемами параметризации микрофизических процессов (*Thompson, Milbrandt, Morrison, WDM6, NSSL*). Кроме того, выполнены расчеты с альтернативными полями температуры поверхности моря из массива *G1SST* (вместо массива *OSTIA*, использующегося в *ECMWF*). Верификация модельных расчетов выполнялась по данным метеорологического радиолокатора в аэропорту г. Симферополь, сети метеостанций Росгидромета, расположенных на территории Крымского полуострова, и результатам наблюдений на океанографической платформе МГИ РАН в пгт. Кацивели.

В целом, все микрофизические модели схемы *WRF* воспроизводят конвективные структуры над Черным морем, их пространственную-временную структуру, а также формирование атмосферного циклона над Черным морем 7 сентября, причем интегральные оценки воспроизведенных параметров существенно ближе к данным наблюдений, чем по результатам входных данных модели *ECMW IFS* с более грубым пространственным разрешением. Однако, по ряду воспроизведенных метеорологических параметров есть существенные различия между расчетами. Среди основных результатов необходимо отметить следующие:

1) Суммарное воспроизведенное количество осадков в *WRF* несколько занижено в сравнении с данными наблюдений. Однако, в расчетах с температурой поверхности моря *G1SST* по большинству из схем (кроме схемы *Milbrandt*) количество осадков значительно (на 25–30 % на Южном берегу Крыма по данным станций и на 10–15 % для области обзора радиолокатора) выше,

чем в расчетах с *OSTIA*. Наибольшее количество осадков, близкое к данным наблюдений, воспроизводится по схеме *WDM6*.

2) Средний коэффициент временной корреляции суммарной массы гидрометеоров по данным радиолокатора также значимо выше в расчетах с *G1SST* (0,63 и 0,35). Лучший коэффициент корреляции получен в расчетах с *WDM6* (0,88). Анализ показал, что лучшее соответствие достигается за счет более раннего формирования конвекции и более интенсивного шквалового фронта в расчетах с *G1SST*.

3) Более интенсивный шквалový фронт, формирующийся в расчетах по *WDM6,* связан с более высокой концентрацией мелких дождевых капель в *WDM6* и усиленным их испарением. Таким образом, формирующийся шкваловый фронт раньше достигает Южного берега Крыма. Расчет по *WDM6* также характеризуется усиленными (на 10–15 %) значениями потоков явного и скрытого тепла с поверхности моря.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАГОНОВ В ГУБАХ, ЗАЛИВАХ И БУХТАХ КАРСКОГО МОРЯ

Архипкин В.С., Мысленков С.А.

МГУ, г. Москва, Россия
victor.arkhipkin@gmail.com

Ключевые слова: колебания уровня моря, нагоны, Карское море, губы, заливы, моделирование, модель ADCIRC.

Известно, что нагоны в прибрежной зоне морей и океанов вызываются, главным образом, касательным напряжением ветра и пространственными градиентами поля приземного атмосферного давления. При прямолинейном береге наиболее благоприятное направление ветра, при котором создается нагон, зависит от соотношения глубины моря и глубины трения Экмана. При глубине моря значительно больше глубины трения самый большой нагон вызывает вдольбереговой ветер с берегом справа в северном полушарии. В прибрежной зоне с очень маленькими глубинами

нагон формируется уже при нормальном к берегу направлении ветра. Карское море же имеет очень сильно изрезанную береговую линию с наличием большого количества губ, заливов и бухт, имеющие разную географическую ориентацию, длину, ширину и глубину. Поэтому и особенности формирование нагонов в них будут отличаться.

Для моделирования штормовых нагонов в Карском море применялась двумерная версия модели ADCIRC, использующая неструктурную сетку. Такая сетка для Карского моря была построена методом “paving”. Размер ячеек этой сетки изменяется от 15 км в центре моря до 500 м в прибрежной зоне. В губах и заливах размер ячеек уменьшается до 250 м. Рельеф дна в узлах сетки рассчитывался методом линейной триангуляции по отметкам глубин, оцифрованным по разным навигационным картам.

На северной, открытой границе задавались амплитуда и фаза гармоник M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1, взятых из базы данных приливов FES2004. Граничное условие свободного прохождения волн использовалось в проливах Карские ворота, Вилькицкого, Шокальского и Маточкин шар. На берегу принимались условия нулевого нормального потока к берегу и тангенциальное скольжение. Придонное трение рассчитывалось согласно формулировке квадратичного закона трения, при этом безразмерный коэффициент придонного трения принимался постоянным и равным 0,025. Коэффициент горизонтальной турбулентной вязкости также задавался постоянным – 2 м^2/с. Речной сток не задавался. Поля ветра и приземного атмосферного давления были взяты из реанализов NCEP/CFSR и NCEP/CFSRv2. Для учета морского льда при моделировании колебаний уровня в Карском море были использованы поля концентрации льда из базы OSI-450. Расчеты проводились с 1979 по 2018 гг.

Расчеты показали, что наибольшие рассчитанные величины нагонов отмечаются в южной части Обской губы – до 3 м. В других полузамкнутых акваториях (Тазовская, Гыданская и Байдарацкая губы, Енисейский и Пясинский заливы) величина нагона достигает 1,5-2 м. Вне пределов бухт, губ и заливов максимальная высота нагона около 1 м. Также отмечено резкое уменьшение возникновения нагонов высотой больше 0,5 м при продвижении на восток от Обской губы.

Для вышеуказанных губ и заливов были построены диаграммы распределения средней высоты нагонов по направлениям и скоростям ветра. Эти диаграммы позволили выявить наиболее благоприятные направления ветра для формирования в этих районах нагонов высотой больше 0,5 м.

Обнаружена следующая закономерность – чем уже губа или залив, тем меньше нужна скорость ветра для возникновения нагона одинаковой высоты. Так, для формирования нагона высотой 1 м в южной части Обской губы скорость ветра должна быть в среднем больше 10 м/с, в то время как в вершине Байдарацкой она должна быть больше 15 м/с.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №18-05-60147 (штормовые нагоны) и гос. задания «Изменение динамики и структуры вод морей и океанов».

КОЛЕБАНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ДВИЖУЩЕГОСЯ ИСТОЧНИКА ВОЗМУЩЕНИЙ

Бабиков И.И.[1], Костюкова Л.О.[1], Маленко Ж.В.[1,2], Ярошенко А.А.[1,2]

[1]СевГУ, г. Севастополь, Россия
[2]Филиал ГМУ, г. Севастополь, Россия
yaroshenko.575@yandex.ru

Ключевые слова: ледяной покров, критическая скорость, фазовая скорость, изгибно-гравитационные волны, амплитуда волны, сжимающее усилие.

Исследование напряженно-деформированного состояния ледяного покрова при движении по нему нагрузки строится в зависимости от того является ли разрушение льда желательным или не желательным. Наличие плавающего ледяного покрова с одной стороны препятствует судоходству, с другой стороны лед может служить взлетно-посадочной полосой, причалом, переправой. Развиваются методы описания ледяного покрова. В разных моде-

лях ледяной покров моделируют упругой, вязкоупругой или пластической средой. При перемещении по плавающему ледяному покрову нагрузки возникают изгибно-гравитационные волны, которые оказывают существенное влияние на величину и распределение прогибов в ледяной пластине. Особенно большое значение приобретает использование ледяного покрова для устройства ледовых дорог и переправ в суровых климатических условиях.

Исследованы три критические скорости движения нагрузки по плавающему ледяному покрову. При этих скоростях меняется структура волнового движения. Критическая скорость v_0 – минимальное значение фазовой скорости изгибно-гравитационной волны. Критическая скорость v_1 – скорость, при которой фазовая скорость изгибно-гравитационной волны и фазовые скорости для чистой воды и упругой пластины совпадают. Критическая скорость $v=(gH)^{1/2}$ – максимальное значение фазовой и групповой скоростей гравитационных волн для водоема конечной глубины.

Если скорость движения нагрузки $v<v_0$ то изгибно-гравитационные волны не образуются. При этих скоростях наблюдается статический прогиб ледяного покрова.

При $v_0<v<v_1$ образуются изгибно-гравитационные волны, распространяющиеся впереди нагрузки и за ней. Амплитуда волн, бегущих впереди источника, меньше амплитуды волн, бегущих за источником. Амплитуды волн увеличиваются с увеличением сжимающих усилий в пластине. При увеличении сжимающего усилия уменьшаются значения критических скоростей v_0 и v_1. При приближении к критической скорости v_1 амплитуда волн, бегущих за источником, достигает максимального значения, и этот максимум находится не по трассе движения источника, как при скоростях близких к v_0, а на некотором удалении от трассы.

Если $v_1<v<(gH)^{1/2}$ то образуются три системы волн – упругие впереди источника, продольные и поперечные гравитационные волны за источником. Увеличение сжимающих усилий при $v_1<v<(gH)^{1/2}$ на амплитуды продольных и поперечных волн существенного влияния не оказывает, а амплитуда упругих волн увеличивается.

При $v>(gH)^{1/2}$ образуются упругие волны впереди источника и продольные волны за источником. В угловой зоне, непосред-

ственно за источником, волны не образуются. Амплитуда упругой волны больше амплитуды продольной волны. При увеличении скорости движения источника, амплитуды волн уменьшаются. Сжимающие усилия при таких скоростях ($v>(gH)^{1/2}$) существенного влияния на амплитуды волн не оказывают.

Амплитуда волн будет максимальной, если $v=v_1$. Сжимающие усилия оказывают наибольшее влияние на амплитуды изгибно-гравитационных волн, если $v_0<v<v_1$. При больших значениях сжимающих усилий существенно меняется структура волнового движения за источником – происходит наложение волн. С ростом скорости перемещения давлений уменьшается угловая зона волнового следа, в которой происходит наложение волн.

АНАЛИЗ АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВЕТРОВ С УСТОЙЧИВЫМ СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫМ НАПРАВЛЕНИЕМ В ЧЕРНОМ МОРЕ

Башарин Д.В., Шокурова И.Г.

МГИ, г. Севастополь, Россия
dbasharin@rambler.ru

Ключевые слова: Черное море, устойчивые ветры, высота изобарической поверхности 500гПа, Европейский регион.

Ветровой режим над морем в значительной степени определяет характер циркуляции вод и перемешивание в верхнем слое моря. Знание ветрового режима и учет направления ветра важно при строительстве гидротехнических сооружений, анализе ветрового волнения в море, для изучения изменения уровня вод в прибрежных районах, сгонно-нагонных явлений, апвеллингов. Особенно это важно, когда направление ветра устойчиво сохраняется в течение достаточно длительного времени. В связи с этим, анализ атмосферных условий для случаев возникновения ветра с устойчивым направлением в Черном море – цель настоящей работы.

Анализ ветровых ситуаций проводился на основе 6-часовых данных атмосферного реанализа ERA Interim 1979–2017 гг. Черное море имеет небольшие размеры, поэтому для большинства синоптических ситуаций можно выделить преобладающий над морем ветровой поток. Его направление определялось на основе осреднения компонент скорости ветра по данным, попадающим на акваторию моря. В работе были выделены случаи, когда преобладающее над морем направление ветра не менялось в течение 5 суток и более (двадцати 6-ти часовых сроков). Всего выделено 23 случая за 37 лет. Из них 18 случаев было с северо-восточным ветром, 3 случая с северным ветром и два случая с восточным и один с юго-восточным ветром. При этом 8 случаев относилось к периоду с декабря по март, 8 случаев – с июня по август, 7 случаев – с сентября по октябрь и один случай был в апреле.

Анализ атмосферных условий возникновения устойчивых ветров проводился для случаев с северо-восточными ветрами, так как в среднем это направление ветра является наиболее частым над акваторией. Для этого в средней тропосфере, в районе, ограниченном координатами 35º–75º с. ш., -10º з.д. – 100º в. д., были выделены поля геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа, соответствующие случаям с устойчивыми ветрами. Для них на основе метода разложения по эмпирическим ортогональным функциям были получены первые моды пространственного распределения геопотенциала отдельно для трех сезонов года: зимнего, летнего и осеннего.

В итоге анализа было получено, что пространственная структура первой моды геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа оказалась идентична во всех рассматриваемых сезонах. Она включает обширную область положительных аномалий геопотенциала, которая располагается над Центральной Европой и может простираться примерно до Уральских гор/Каспийского моря. Вклад первой моды составил в зимний сезон – 68 %, в осенний – 52 % и в летний – 37 %. Вклад второй и последующей мод намного меньший. Так для зимнего сезона вклад второй моды меньше почти на порядок, а для осеннего – в 4 раза меньше первой. Летом вклад второй моды лишь немного меньше первой и составляет 21 %.

Таким образом, для случав устойчивых северо-восточных ветров над акваторией Черного моря распределение геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа в средней тропосфере преимущественно таково, что имеет место обширная область положительных аномалий с центром в регионе Центральной Европы, о чем свидетельствует пространственное распределение первой моды. Такое распределение характерно для малоподвижного блокирующего антициклона, при котором нарушается классический перенос воздушных масс со стороны Атлантики.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0002.

ПРИЧИНЫ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ ГЛУБОКОЙ КОНВЕКЦИИ В ГРЕНЛАНДСКОМ МОРЕ

Башмачников И.Л.[1,2,3], Федоров А.М.[1,2,4], Голубкин П.А.[2], Весман А.В.[1,2,4], Селюженок В.В.[1,2], Гнатюк Н.В.[2], Бобылев Л.П.[2]

[1]СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
[2]Фонд «Нансен-центр», г. Санкт-Петербург, Россия
[3]МГИ, г. Севастополь, Россия
[4]ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
i.bashmachnikov@spbu.ru

Ключевые слова: Гренландское море, глубокая конвекция, пресный баланс, тепловой баланс.

Интенсивность конвекции в Гренландском море существенно увеличилась с 1990-х годов, однако причины этой изменчивости оставались неясными. Различные исследователи предлагали различные механизмы, регулирующие межгодовую изменчивость конвекции в Гренландском море: интенсивность циклонической циркуляции (Clarke and Gascard, 1983), потоки тепла в атмосферу (Marshall and Schott, 1999; Moore et al., 2015; Yang et al., 2016), влияния ледяного покрова на теплообмен с атмосферой (Mysak et

al., 1990; Moore et al., 2015; Vage et al., 2018), океаническая адвекция аномалий температуры и солености (Johannessen et al., 1991; Alekseev et al. 2001; Dickson et al., 2008; Glessmer et al., 2014; Lauvset et al., 2018; Brakstad et al., 2019), таяние ледников Гренландии (Dukhovskoy et al., 2016).

Долгосрочные тенденции в глубины конвекции определяются межгодовой изменчивостью плотности верхнего слоя моря. Мы показали, что, начиная с 1990-х гг., в межгодовой изменчивости плотности приповерхностных вод центральной части Гренландского моря в зимний сезон ведущую роль играла межгодовая изменчивость солености воды.

Среди потоков плавучести (как в течение зимнего сезона, так и в предшествующий теплый период) наиболее важными для межгодовой изменчивости глубины конвекции в Гренландском море оказались межгодовая изменчивость океанической адвекции соли и, в меньшей степени, таяния льда. Изменение солености верхнего слоя Гренландского моря связано, как известно, с интенсивностью рециркуляции атлантических вод (Johannessen et al. 1991, Alekseev et al. 2001, Dickson et al. 2008, Chatterjee et al. 2018). Таким образом, начиная с 1990х гг. межгодовая изменчивость интенсивности глубокой конвекции в Гренландском море, в первую очередь, определялась изменением интенсивности адвекции соли рециркулирующей атлантической водой. Интенсивность же адвекции океанического тепла с атлантическими водами существенно ослабляется на пути в центральную область Гренландского моря за счет активной теплоотдачи в атмосферу, особенно зимой.

Площадь морского льда в исследуемый период была сравнительно невелика и практически не влияла на межгодовую динамику конвекции. Однако в течение некоторых зим (1996/1997 и 1997/1998) резкое увеличение площади льда привело к существенному уменьшению (на 30–50 %) зимней теплоотдачи в атмосферу и ослаблению конвекции. Такая ситуация могла быть характерна и для 1970х-1980х гг., когда часто наблюдалась существенная изменчивость зимней площади льда (Comiso et al., 2001; Germe et al., 2011), которая, в этот период, могла стать одним из ведущих факторов изменчивости интенсивности конвекции.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Санкт-Петербургского государственного университета № 75295423.

АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И НАКАТА УЕДИНЕННЫХ ВОЛН В МЕЛКОВОДНОЙ ЗОНЕ

Белоконь А.Ю., Михайличенко С.Ю., Фомин В.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия
aleksa.44.33@gmail.com

Ключевые слова: численное моделирование, солитон, уединенные волны, накат волн на берег.

Исследование распространения уединенных волн на мелководье с последующим накатом на береговой склон является практически значимой задачей. Подобные процессы могут наблюдаться, в первую очередь, при подходе к берегу волн цунами, а также приливных и судовых волн. В открытом океане эти волны имеют малую амплитуду и не представляют особой опасности, однако при приближении к берегу скорость их распространения уменьшается, а высота растет. В первом приближении к уединенным волнам можно отнести также и ветровые волны, подходящие к берегу и деформированные мелководьем. В мелководной зоне усиливается влияние нелинейных эффектов, поэтому волны подходят к берегу деформированными: их передний склон становится крутым, что впоследствии может привести к экстремальным заплескам.

В настоящей работе представлены результаты численного моделирования распространения уединенной волны в мелководном бассейне, полученные в рамках нелинейной модели длинных волн и в гидродинамической модели SWASH. Исследована деформация волны на участке бассейна постоянной глубины с последующим распространением волны на наклонном участке дна и ее накатом на пологий берег. Показано, что с увеличением расстояния, пройденного волной, высота заплеска на берег возрастает.

Численные расчеты, полученные в разных моделях, хорошо согласуются. Сопоставление численных оценок с аналитическими показало, что аналитические оценки справедливы в случае недеформированных волн. Для анализа высот наката волн, передний склон которых при подходе к берегу становится довольно крутым, следует прибегнуть к помощи численного моделирования.

ПОСЛЕДНЯЯ ЛЕДНИКОВАЯ ЭПОХА В ЧЁРНОМ МОРЕ И КАСПИИ

Бердникова А.А.[1], Янина Т.А.[1], Зенина М.А.[2], Сорокин В.М.[1]

[1]МГУ, г. Москва, Россия
alinaberdnikowa@yandex.ru
[2]ИО РАН, г. Москва, Россия,

Ключевые слова: изотопно-кислородный метод, остракоды, трансгрессивно-регрессивная ритмика, палеогеографические реконструкции, последний ледниковый максимум, деградация оледенения.

Понто-Каспийский регион представляет собой систему внутриконтинентальных водоемов и сопредельных им территорий, подверженных в прошлом их влиянию и сохранивших в настоящем его палеогеографические следы. Каждому из них присущи уникальные природные особенности и история развития. В то же время эволюция всего региона отражает как глобальную, так и региональную климатическую ритмику. В данной работе затрагиваются проблемы развития территории во время последней ледниковой эпохи, под которой подразумевается поздневалдайское оледенение, сопоставляющееся с MIS 2 шкалы SPECMAP, включающее как максимальное распространение ледников во время сильного похолодания климата, так и похолодания и потепления более низкого ранга, время деградации оледенения, позднеледниковье вплоть до голоцена.

Нами проведены микрофаунистический и изотопно-кислородный анализы остракод из отложений кернов скважин Северного Каспия и Чёрного моря. Район, в котором была пробурена скважина КОР-4, находится в обширной плоскодонной котловине Широтной в северной части Каспийского моря. Глубина водоема в этом месте составляет 11 м. Забой керна 56,4 м от поверхности дна. Скважина ИГС-1, глубиной 60 м с отметкой устья -34,9 м, пробурена на структуре «Филановского» в Северном Каспии, она также была ранее изучена комплексом других палеогеографиче-

ских анализов. Для изучения западной части Чёрного моря изучен керн скважины Восточное Самотино ВС-2Б, пробуренной на краю шельфа и верхней части континентального склона Болгарского побережья Чёрного моря на южном борту Нижне-Камчийского прогиба с глубины 53 м. Восточная часть Чёрного моря изучалась по скважине RBH-16, пробуренной также на окраине шельфа у северо-восточного побережья Черного моря близ г. Анапы на глубине 96 м.

Корреляция палеогеографических событий внутри региона так же важна, как комплексное рассмотрение истории развития Понто-Каспия на фоне глобальных изменений климата. Изотопно-кислородные данные позволяют нам коррелировать трансгрессивно-регрессивные события Каспия и Чёрного моря с ледниково-межледниковой ритмикой на Восточно-Европейской равнине и событиями в Мировом океане. В истории региона для рассматриваемого промежутка времени выделено несколько стадий эволюции:

1. Вторая половина MIS3 и начало MIS2 – трансгрессия Каспия.

2. Глубокая регрессия Каспия и Понта в начале поздневалдайского оледенения и в ходе последнего ледникового максимума. Изоляция, опреснение обоих водоемов.

3. Трансгрессивная стадия Каспия и Понта со сложной внутренней динамикой на фоне деградации последнего ледникового покрова и эпизодического поступления большого количества талых вод. Сброс каспийских вод по Манычу.

4. Подъем уровней обоих морей при резком потеплении в начале голоцена (MIS1); продолжение трансгрессивной фазы Чёрного моря в результате установления двусторонней связи с Мировым Океаном, осолонение Чёрного моря; регрессивная фаза (мангышлакская) в Каспии в результате увеличения испарения и уменьшение стока в Каспий.

5. Голоценовые трансгрессии обоих морей.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 20-35-90020/20 и при поддержке проекта РФФИ №20-05-00608 (лабораторные исследования).

ЭВОЛЮЦИЯ И ВЕРТИКАЛЬНАЯ СТРУКТУРА СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ЦИКЛОНОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ НА ПЕРИФЕРИИ БАТУМСКОГО АНТИЦИКЛОНА

Богданов А.А., Кубряков А.А., Мизюк А.И.

МГИ, г. Севастополь, Россия
artem96.96@bk.ru

Ключевые слова: Батумский антициклон, Черное Море, субмезомасштабные вихри, математическое моделирование.

Одним из важных механизмов генерации субмезомасштабных вихрей является сдвиговая неустойчивость на периферии синоптических антициклонов, усиливающаяся в прибрежной зоне из-за трения о берег. Батумский антициклон (БА), образующийся в юго-восточной части Черного Моря, может существовать там на протяжении нескольких месяцев. Спутниковые оптические измерения показывают, что за это время на его периферии с завидной постоянностью образуются субмезомасштабные циклонические вихри (СЦВ). Исследование таких вихрей очень важно, так как они значительно влияют на термохалинную структуру, транспорт взвешенного вещества, а также способствуют интенсивному вертикальному перемешиванию.

К сожалению, спутниковые снимки дают нам исчерпывающую информацию только о верхней части морского бассейна, оставляя скрытой информацию о состоянии толщи воды. В настоящей работе, для исследования динамики, термохалинной структуры и механизмов генерации СЦВ используется результаты численного моделирования NEMO с высоким разрешением (1 км).

На основе проведенного анализа показано, что СЦВ образуются при взаимодействии орбитальных скоростей Батумского антициклона с мысом на южном побережье Черного моря. При этом образование СЦВ происходит с некоторой периодичностью, связанной с фазами усиления /ослабления Батумского антициклона. Отрыв СЦВ от мыса и их формирование на границах БА возникают в следствии прохождения максимума орбитальной скорости

антициклона около береговой зоны. В это время вблизи мыса образуется область высокой дивергенции течений, которая приводит к формированию подъема вод и выраженного СЦВ. В течении 2 месяцев с 01.10.2008 по 30.11.2008 на границе БА образовалось 5 относительно долгоживущих СЦВ. Практически все они образовывались в виде длинной и узкой полосы положительной завихренности за мысом. Далее 2 из них образовывались в полноценные круглые циклоны, а остальные размазывались в первые дни существования. Такие СЦВ характеризуются высокими значениями завихренности ($>8\cdot10^{-5}$ 1/с), которые занимают слой более 200 м. Они значительно влияют на поле температуры и солености, вызывая подъем соленых и холодных вод из-под термоклина.

После отрыва СЦВ движутся в антициклоническом направлении по периферии вихря. При этом постепенно область высокой завихренности растягивается по горизонтали и сужается по глубине. Причиной такого растягивания по горизонтали, по-видимому, является интенсивный сдвиг течений между БА и окружающими водами. В результате такого сдвига большинство образующихся ЦВ быстро диссипируют, однако некоторые из них существуют до 1 месяца и достигают северной периферии БА.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОЛОЦЕНОВОГО КАТАСТРОФИЗМА ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ГОРНОГО КРЫМА

Богуславский А.С., Казаков С.И., Берзова И.Г., Хамицевич Н.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия
al_bhs@mail.ru

Ключевые слова: Южный берег Крыма, уровень моря, гидрогеологическое моделирование, палеореконструкция, голоцен.

Согласно существующим палеореконструкциям, уровень Черного моря в течение последнего миллиона лет неоднократно претерпевал значительные колебания. По данным глубоководного

бурения, Черное море 9 тыс. лет назад было замкнутым пресноводным бассейном. В результате мощной гидродинамической, и, возможно, сейсмогравитационной катастрофы в голоцене, уровень моря резко повысился на 100-200 м. Геоморфологические особенности берегового склона хранят следы катастрофы. Сохранившаяся глубинная карстовая проработка карбонатной толщи определяет субмеридиональные зоны береговой и субмариной разгрузки карстовых подземных вод. Результаты моделирования по палеосценарию на гидрогеологической модели Юго-западной части Горного Крыма подтверждают гипотезу.

Работа выполнена в рамках научной темы МГИ 0555-2021-0005 государственного задания 2021 г.

При поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН №8 «Минеральные ресурсы для высокотехнологической промышленности и энергетики» 2018-2019 гг.

ВНУТРЕННИЕ ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ ОТ ДВИЖУЩЕГОСЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА ИСТОЧНИКА ВОЗМУЩЕНИЙ

Булатов В.В., Владимиров Ю.В.

ИПМех РАН, г.Москва, Россия
internalwave@mail.ru

Ключевые слова: внутренние гравитационные волны, движущийся источник, стратифицированный океан, асимптотики.

Важным механизмом возбуждения внутренних гравитационных волн (ВГВ) в океане является их генерация источниками возмущений различной физической природы: естественного (движущиеся возмущения атмосферного давления, обтекание неровностей рельефа океана, подветренные горы) и антропогенного (морские технологические конструкции, схлопывание области турбулентного перемешивания, подводные взрывы) характеров. Касательное напряжение ветра, создаваемое движущимся ураганом, может формировать на океанической поверхности структуру в виде движущейся воронки с почти радиальной симметрией. Как

показывают результаты мониторинга Мирового океана, движущиеся возмущения морской поверхности являются одним из основных природных механизмов генерации интенсивных ВГВ Распространение диспергирующих ВГВ и создаваемые ими волновые картины на больших расстояниях от источников возмущений (много больших его характерных размеров) практически не зависит от их формы и определяется только законом дисперсии и скоростью источника.

Решена задача о построении аналитических решений, описывающих генерацию ВГВ вдали от нелокального источника возмущений, который движется на поверхности стратифицированного океана конечной глубины. Использовано модельное распределение формы источника, обладающее радиальной симметрией, которое качественно верно описывает основные пространственно-временные характеристики природных источников генерации ВГВ. Решение имеет вид ряда по собственным функциям основной спектральной задачи уравнения внутренних гравитационных волн. Дальние поля ВГВ на больших расстояниях от движущегося нелокального источника определяется законом дисперсии и скоростью источника.

Полученные результаты позволяют оценивать вариации донного давления на морском дне, что важно для разработки методов регистрации ВГВ в океане. В дальней зоне возбуждаемые волновые поля относительно малы по амплитуде и, как правило, хорошо описываются с помощью линейных уравнений, поэтому при исследовании дальнего распространения ВГВ прямые численные расчеты нецелесообразны. Начальные и граничные условия для конкретных нелокальных движущихся источников возмущений должны определяться из результатов прямого численного моделирования полной системы уравнений гидродинамики или из сугубо оценочных полуэмпирических соображений, позволяющих адекватно аппроксимировать реальные нелокальные источники возмущений. Полученные решения дают возможность эффективно рассчитывать основные амплитудно-фазовые характеристики возбуждаемых дальних полей ВГВ, и, кроме того, качественно анализировать полученные решения, что важно для правильной постановки более сложных математических моделей волновой динамики океана.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 20-01-00111А.

ВНЕТРОПИЧЕСКИЕ ЦИКЛОНЫ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ ПО РАЙОНАМ ГЕНЕЗИСА

Вязилова Н.А.

ВНИИГМИ-МЦД, г. Обнинск, Россия,
nav@meteo.ru

Ключевые слова: внетропические циклоны, районы генезиса циклонов, циклоническая активность.

Внетропические циклоны, выходящие на европейскую территорию России с акватории Северной Атлантики, оказывают значительное влияние на процессы, происходящие в климатической системе береговой зоны морей России. Целью настоящей работы является сравнение количества и характеристик генерируемых внетропических циклонов в различных районах Северной Атлантики, в районах северных европейских морей и Средиземного моря по данным двух реанализов, ERA-5 (ECMWF) и NCAR/NCEP/DOE в зимнюю половину года за период 1979–2020 гг.

Центры циклонов и траектории их смещения рассчитаны на основе метода автоматической идентификации по 6-часовым данным атмосферного давления на уровне моря (MSLP) в узлах сетки с шагом 2,5° реанализа-2 NCAR/NCEP/DOE и 1,25° реанализа ERA-5. Для анализа отбирались траектории циклонов с длиной жизни от 12 часов и более.

Сравнение интегрального количества траекторий циклонов, рассчитанного по данным двух реанализов и одному и тому же методу идентификации центров циклонов, ориентированному на шаг сетки 2,5° в определении первой изобары вокруг центра, показывает существенные различия между реанализами в количестве генерируемых циклонов по районам генезиса. Систематически во всех районах больше циклонов идентифицируется по данным реанализа ERA-5. Максимальное количество циклонов по обоим реанализам генерируется в умеренных и субполярных широтах Северной Атлантики, в этих же районах наблюдаются и

максимальные отличия между реанализами. Еще большее количество циклонов во всех районах генезиса по данным реанализа ERA-5 идентифицируется с использованием второй модификации, с учетом шага сетки 1,25°, что позволяет выявлять менее крупные циклоны. Несмотря на существенные отличия в количестве выявляемых циклонов, расчеты по обоим реанализам демонстрируют тенденцию к росту количества генерируемых циклонов в зимнюю половину года в течение периода исследования, особенно в последние десять лет, как в отдельных районах, так и во всем в регионе Северной Атлантики.

Анализ межгодовой изменчивости характеристик циклонической активности, проведенный для районов Исландского минимума и Баренцева моря, также показало существенное отличие между реанализами. В каждый отдельный зимний сезон всего периода исследования при сравнительно одинаковом количестве глубоких циклонов значения индекса циклонической активности (интегральная сумма аномалий атмосферного давления в центрах циклонов за сезон) по данным реанализа ERA-5 в этих районах оказались значительно выше. Это связано как с более высокой интенсивностью глубоких циклонов, так и с более высоким количеством умеренных циклонов, выявляемых по данным ERA-5 по сравнению с реанализом NCAR/NCEP/DOE. При этом изменчивость характеристик циклонической активности в выбранных районах, рассчитанная по данным ERA-5, хорошо коррелирует с изменчивостью, полученной по данным NCAR/NCEP/DOE.

Сравнение характеристик циклонической активности, полученных одним методом, но с использованием разных реанализов, демонстрирует зависимость этих характеристик от выбора данных, которые отличаются исходной численной моделью, шагом сетки. Анализ количества и интенсивности циклонов, полученных разными методами по данным одного реанализа показывает, что результаты в значительной степени определяются выбором схемы идентификации и расчета траекторий циклонов.

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ПРИМОРСКОГО КРАЯ В 2020 Г. НА ФОНЕ ПОСЛЕДНИХ ДЕСЯТИЛЕТИЙ (ЯПОНСКОЕ МОРЕ, ТАТАРСКИЙ ПРОЛИВ)

Гайко Л.А.

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
gayko@yandex.ru

Ключевые слова: аномалии температуры воды, аномалии температуры воздуха, климатическая норма, гидрометеорологические станции, Татарский пролив, Японское море.

Исследование особенностей температурного режима прибрежной зоны Приморского края в 2020 г. проводилось по данным наблюдений на пяти гидрометеорологических станциях (ГМС) Приморского УГКС, расположенных вдоль побережья Приморья: три станции на юге района и две – на востоке. Для определения различий в значениях аномалий температуры воды и воздуха на ГМС Приморья в 2020 г., в зависимости от выбора климатической нормы, было проведено сравнение среднемесячных и среднегодовых значений аномалий температуры относительно стандартной (1961–1990 гг.) (СН), принятой в настоящее время (1981–2010 гг.) (ПН) и новой (1991–2020 гг.) (НН) климатических норм. Для обобщённого анализа по станциям в среднегодовом аспекте рассмотрены интегральные аномалии среднемесячных значений температуры воды и воздуха. Самые высокие отклонения температуры воды были от СН, относительно ПН их величина по станциям уменьшилась, но в разных пределах. Относительно НН высокие положительные аномалии отмечены на северо-восточном побережье, а на юго-западном выявлены даже отрицательные аномалии. Возможно, на температуру воды существенные влияние оказывает местная циркуляция вод. В распределении отклонений температуры воздуха на ГМС Приморья в 2020 г. прослеживается большая однородность при переходе от станции к станции и от одной нормы к другой, хотя каждой стан-

ции присущи свои климатические особенности. Годовые кумулятивные аномалии положительны и равномерно уменьшаются от СН к НН.

Также было проведено сравнение аномалий температуры по трём декадам (1991–2000; 2001–2010; 2011–2020 гг.), рассчитанных от СН. Сравнение по декадам выявило понижение температуры воды в декабре во все декады. На восточном побережье отрицательные аномалии были отмечены также в октябре-ноябре во 2-й декаде и в феврале и марте в 3-й. На всех станциях во все декады теплее стали все месяцы с апреля по сентябрь, но наиболее потеплели летние месяцы, особенно июль в 1-ю и 3-ю декады и июнь – во 2-ю. Распределение аномалий температуры воздуха в общих чертах повторяет картину температуры воды: также наиболее холодным стал декабрь, а наиболее тёплыми – летние месяцы. Суммарные отклонения температуры воды по всем станциям в 1-й декаде составили 3,6 °С, во 2-й – 2,7 °С, в 3-й – 4,2 °С. По температуре воздуха соответственно 4,1 °С, 4,1 °С и 5,2 °С.

Сравнение температуры воды в 2020 и 2019 гг. от принятой нормы показало, что распределение аномалий температуры на станциях носит мозаичный характер. В 2020 г., по сравнению с 2019 г., самым тёплым стал октябрь, а самым холодным – март. В среднегодовом аспекте температура воды выросла на 1,0 °С. Распределение аномалий температуры воздуха в 2019 и 2020 гг. на станциях носит более упорядоченный характер, чем температуры воды. В целом по станциям в среднегодовом аспекте в 2020 г. отмечено повышение температуры воздуха на 0,8 °С. Самое значительное увеличение температуры произошло в ноябре, а наибольшее снижение – в апреле.

В заключение можно отметить, что в целом по району температурный фон повысился в 3-ю декаду, т. е. самым тёплым стал период 2011–2020 гг.

НОВЫЙ ПОДХОД К ДЕКОМПОЗИЦИИ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ НЕГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ ОКЕАНА НА БАРОТРОПНУЮ И БАРОКЛИННУЮ СОСТАВЛЯЮЩИЕ И НОВЫЙ КЛАСС КОНСЕРВАТИВНО-ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ

Головизнин В.М., Залесный В.Б., Соловьев А.В.

МГУ, г. Москва, Россия
ИВМ РАН, г. Москва, Россия
ИБРАЭ РАН, г. Москва, Россия
gol@ibrae.ac.ru

Ключевые слова: негидростатическая модель океана, стратифицированные течения, свободная поверхность, бароклинные течения, баротропные уравнения, численная модель, консервативно –характеристический алгоритм.

В численных моделях течения стратифицированной жидкости со свободной верхней границей часто выделяют подсистему баротропных уравнений, описывающих быстрые внешние гравитационные волны. Неизвестными переменными в баротропной системе являются уровень океана (форма свободной поверхности) и осредненные по глубине скорости течений. Полное решение представляется в виде суммы баротропных переменных, зависящих от двух горизонтальных координат и времени, и решения бароклинной системы уравнений, дополняющей баротропную систему до полной исходной. Такое разделение позволяет расщеплять численный алгоритм на две составляющих, описывающих быстрые и медленные движения и минимизировать вычислительные затраты.

Декомпозиция уравнений стратифицированной жидкости со свободной верхней границей на баротропную и бароклинную составляющие не является однозначной. В докладе рассматривается новый подход к такому расщеплению, не опирающийся на традиционную процедуру осреднения по глубине. Баротропные

скорости в общем случае могут не совпадать со средними по глубине, что обеспечивает большую гибкость при выборе метода численного решения.

Новый подход иллюстрируется на примере постановки задачи негидростатической динамики и алгоритме ее решения, использующем консервативно-характеристическую разностную схему.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ДИНАМИКИ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ЖИДКОСТИ ГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ CABARET-MFSH

Головизнин В.М.[1], Майоров Павел А.[1,2], Майоров Петр А.[1,2], Соловьев А.В.[3]

[1]МГУ, г. Москва, Россия,
gol@ibrae.ac.ru
[2]ИБРАЭ РАН, г. Москва, Россия
pavel.a.mayorov@gmail.com, maiorov.peter@gmail.com
[3]ИБРАЭРАН,
solovjev@ibrae.ac.ru

Ключевые слова: вычислительная гидродинамика, стратифицированный поток, математическое моделирование, лабораторные эксперименты, схема КАБАРЕ, валидация.

В работе представлены результаты численного моделирования лабораторных экспериментов по гидростатической модели CABARET-MFSH, подробно описанной в [1].

Основу численной методики составляют уравнения многослойной мелкой воды с учетом обмена массой и импульсом между слоями. Численное решение этих уравнений осуществляется по схеме КАБАРЕ с применением процедуры фильтрации потоковых переменных для компенсации плохой обусловленности гидростатического приближения. Параметры фильтрации подбираются эмпирически на ряде модельных задач из условия

минимума необходимой для сохранения устойчивости диссипации энергии и в дальнейшем не варьируются.

В моделируемых лабораторных экспериментах изучается распространение придонных внутренних волн в стратифицированной жидкости, возникающих при мгновенном извлечении перегородки, отделяющей раствор с заданным вертикальным распределением солености от пресной воды в длинном прямоугольном канале. Расчеты проводились с целью верификации численной модели на реальных данных и исследования вклада различных элементов алгоритма в численную диссипацию свободной энергии.

В результате проведения многих серий расчетов выяснилось, что ранее найденные параметры фильтрации обеспечивают хорошее совпадение расчетных данных с результатами натурных наблюдений во всех экспериментах. Варьирование этих параметров незначительно сказывается на скорости диссипации свободной энергии. Основной вклад в диссипацию дает нелинейная коррекция потоков консервативно-характеристической разностной схемы, основанная на принципе максимума и не имеющая настроечных параметров. Именно она ответственна за совпадение расчетных данных, выполненных без привлечения моделей турбулентности с реальными турбулентными течениями.

Ранее, в работах [2,3] было показано, что такая нелинейная коррекция позволяет без настроечных параметров проводить адекватные расчеты турбулентных течений с большими числами Рейнольдса при неполном разрешении спектра турбулентных пульсаций в задачах свободной и вынужденной конвекции. Это дает некоторые основания полагать, что встроенную в модель CABARET-MFSH коррекцию потоков можно трактовать как универсальную беспараметрическую модель турбулентности, исключающую необходимость применения каких-либо других моделей турбулентности.

1. Головизнин В.М., Майоров Павел А., Майоров Петр А., Соловьев А.В. Новый численный алгоритм для уравнений многослойной мелкой воды на основе гиперболической декомпозиции и схемы КАБАРЕ, Морской гидрофизический журнал,2019, том 35, № 6, с. 600-620.

2. Головизнин В.М., Короткин И.А., Финогенов С.А. Беспараметрический численный метод для расчета термоконвекции в

прямоугольных кавернах в широком диапазоне чисел Релея, Вычислительная механика сплошных сред,2015, том 8, № 1, с. 60-70.

3. Глотов В.Ю., Головизнин В.М., Сергеенко К.М. LES-моделирование турбулентного теплообмена при течении свинцового теплоносителя в круглой трубе при различных числах Рейнольдса, Математическое моделирование,2018, т. 30, № 7, с. 46-53.

УЧАСТИЕ МГИ И ИНБЮМ АН УССР В МЕЖДУНАРОДНЫХ ПРОЕКТАХ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ МИРОВОГО ОКЕАНА В 70-Х – 80-Х ГОДАХ ПРОШЛОГО ВЕКА

Горбанёв В.А.

МГИМО, г. Москва, Россия
vlgorbanyov@gmail.com

Ключевые слова: советско-французское сотрудничество, Межправительственное соглашение, СОВФРАНС, Институт океанографии, центр КНЕКСО, станция в Вильфранше, Эндум, СИКАР, МОКАРИБ, ПОЛИМОДЕ.

С 2021 г. Организация Объединенных Наций объявила Десятилетие наук об океане в интересах устойчивого развития.

В связи с этим, представляется важным вспомнить, какие усилия предпринимал Советский Союз, в частности, институты Академии наук Украины, для налаживания международного сотрудничества в области исследования Мирового океана в 70-80-х годах ушедшего века. Это особенно важно сделать сейчас, когда национальные исследования Мирового океана, и уж тем более участие России в международных исследованиях по известным причинам в значительной мере ослаблены.

В апреле 1979 г. было подписано межправительственное Соглашение между Францией и СССР о сотрудничестве в области исследования Мирового океана. Соглашение подписали министры иностранных дел СССР А. Громыко и Франции Ж. Франсуа-Понсе. На базе этого соглашения была создана совместная Рабочая группа, которая планировала и координировала совместные работы. Со стороны СССР Рабочую группу возглавил академик Л.М. Бреховских, а со стороны Франции академик Ж.М. Перес. Советская часть Рабочей группы функционировала в рамках Госкомитета СССР по науке и технике (ГКНТ), а французская

часть – в рамках Национального центра по использованию океана (КНЕКСО).

Соглашение дало, конечно, серьезный толчок развитию двустороннего сотрудничества в исследовании океана. Но оно возникло не на пустом месте. До подписания Соглашения между СССР и Францией уже в течение более 10 лет проводились интенсивные совместные работы.

В частности, была разработана Советско-французская программа СОВФРАНС. С советской стороны работы осуществлял Морской гидрофизический институт, с французской – Лаборатория физической океанографии Национального музея естественной истории Парижского университета и Институт статистической механики и турбулентности в Марселе. По этой программе были проведены экспедиции на НИС «Михаил Ломоносов» под руководством А.Г. Колесникова в 1969 г. и на НИС «Академик Вернадский» под руководством И.Е. Тимченко в 1976 г., а также на французском НИС «Ле-Сюруа» под руководством Ж. Гонелла.

Параллельно исследования проводились на уникальном буелаборатории «Бора-2». Огромную роль в подготовке и проведении проекта СОВФРАНС сыграли директор МГИ академик АН УССР Б.А. Нелепо и директор Музея естественной истории Франции профессор Лакомб.

Со стороны МГИ совместными работами руководил директор Института Б.А. Нелепо и со стороны ИНБЮМа директор Института В.Е. Заика. Значительными событиями в реализации принятой программы явились ознакомительные поездки советских ученых во Францию и французских ученых в СССР.

Советские ученые посетили Институт океанографии Парижа – это учебное океанографическое учреждение, основанное в 1906 г. принцем Монако Альбертом I, в состав которого также входит Океанографический музей в Монако. Сейчас в связи со 100-летием Института ему дали новое название – Дом океанов. Конечно, делегация посетила и сам Музей в Монако.

Пожалуй, самым запоминающимся в памяти остался Океанографический центр КНЕКСО в Бресте. Это был закрытый для посещения иностранцами район, но для советской делегации сделали исключение. Сейчас его еще больше расширили и переименовали в Ифремер, рядом создали развлекательный морской центр Океанополис с огромным океанариумом.

Являясь интегрированным научно-исследовательским институтом морских наук, Центр всегда вносил свой существенный вклад в национальные и международные исследования. Исследования, проводимые Институтом, сосредоточены на понимании физических, биогеохимических процессов, которые могут быть

изучены с использованием новых методов наблюдения за океаном и с помощью моделирования.

Далее делегация посетила старейшую океанографическую станцию в Вильфранш-сюр-Мер на Лазурном берегу. В 1882 г., была основана лаборатория в Вильфранше. Она размещалась в здании, ранее арендованном Русским флотом в качестве угольного склада. Алексей Коротнев из Киевского университета часто посещал лабораторию, и у него возникло желание создать российскую исследовательскую базу «Русскую зоологическую станцию». В 1914 г. станция была принята на баланс Министерства просвещения России с годовым бюджетом в 18 000 руб. Однако после 1917 г. финансирование было прекращено. В 1931 г. станция перешла в ведение Парижского университета.

После посещения Вильфранша французские хозяева пригласили советских ученых на морскую станцию Эндум в Марселе. Это научно-исследовательский институт, где проводятся масштабные океанографические и биологические исследования. Директором Института в течение 35 лет был главный координатор советско-французского сотрудничества академик Ж.М. Перес.

Ж.М. Перес и Ф.Маразаноф также посещали СССР и знакомились с советскими океанографическими учреждениями. В том числе они посетили МГИ и ИНБЮМ АН УССР.

Б.А. Нелепо организовал очень теплую встречу за товарищеским ужином в ресторане у Байдарских ворот. Очень хороший тост произнес Борис Алексеевич Нелепо. Он сказал, что в истории взаимоотношений Франции и России были разные периоды: подъемы и падения. Политика всегда давлела над человеческими отношениями, но именно эти отношения всегда были очень добрыми. И он высказал пожелание, чтобы отдельные люди, отдельные социальные слои, и вообще наши народы в целом всегда дружили и находили друг у друга поддержку, не взирая на политическую конъюнктуру. Представляется, что эти слова очень актуальны и сегодня.

К сожалению, в дальнейшем советско-французское сотрудничество стало угасать, а после развала СССР двустороннее межправительственное Соглашение потеряло юридическую силу.

Другой очень важной площадкой советско-французского сотрудничества была Программа Совместных исследований Карибского моря (СИКАР) Межправительственной океанографической комиссии ЮНЕСКО.

После 1975 г. Программа СИКАР была преобразована в Ассоциацию Межправительственной океанографической комиссии ЮНЕСКО для Карибского бассейна и прилегающих районов (МОКАРИБ). Большой вклад развитие новой программы внес тогдашний ученый секретарь МГИ В.Н.Еремеев. Гидрофизические

работы предусматривали всестороннее изучение структуры и динамики вод, выявление закономерностей формирования и изменчивости гидрофизических, гидрохимических, геофизических и других полей региона, уточнение схем поверхностной и глубинной циркуляции. В работах по программе «МОКАРИБ» участвовали Н. П. Булгаков, Г. Г. Неуймин и многие другие ученые МГИ.

В рамках МОК ЮНЕСКО осуществлялась еще одна программа, в которой активно участвовал ЮНБЮМ – это Международная комиссия по научным исследованиям Средиземного моря (СИСМ). В работах по этой программе участвовало НИС «Академик Ковалевский». Руководил работами О.Г.Миронов,

Крупнейшим, можно сказать, беспрецедентным, гидрофизическим советско-американским экспериментом был проект ПОЛИМОДЕ, проведенный в 1977–1979 гг. Самый большой объем наблюдений выполнил МГИ.

В МГИ была разработана Программа гидрологических съемок, принятая в качестве единой для всех судов экспедиции. В программу вошло совместное международное научное исследование синоптических вихревых движений в океане.

Результаты «ПОЛИМОДЕ», значительно расширили наше понимание физических процессов формирования и эволюции вихрей открытого океана и в целом оказали сильное влияние на дальнейшие исследования синоптических движений в Мировом океане.

Хотелось бы выразить надежду, что в течение 10-летия наук об океане, объявленного ООН, участие России, и в частности МГИ и ИНБЮМ, в международных программах исследования океана значительно активизируется на основе накопленного уже опыта, и хотелось бы также надеяться, что вновь созданная Межведомственная национальная океанографическая комиссия России продолжит координирующую роль в исследовании Мирового океана, которая с успехом осуществлялась Океанографическим комитетом Советского Союза вплоть до конца 80-х гг.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРОЕНИЯ ОДНОЛЕТНИХ ТОРОСОВ

Гузенко Р.Б.

ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
guzenko@aari.ru

Ключевые слова: торос, статистическое моделирование, морфометрия, термобурение, консолидированный слой.

Гряды торосов, возникающие в результате деформации льда под действием сжатий, являются характерным элементом ледяного покрова замерзающих акваторий. Их морфометрические, прочностные и динамические характеристики обуславливают риски для проведения морских операций в ледовых условиях и заключают в себе опасность для объектов морской инфраструктуры на шельфе. Натурное исследование торосов является сложным процессом. Это связано и с их значительными размерами (длина их может достигать сотен метров, а общая толщина льда в них нередко превышает 20 м) и с техническими сложностями получения информации о параметрах внутренней структуры – толщине консолидированного слоя (КС), пористости – которые, главным образом, и определяют основные ледовые нагрузки.

В работе представлен анализ проведенных ААНИИ в морях Карском и Лаптевых в 2007–2017 гг. полевых исследований 129 однолетних торосов. Отдельно были рассмотрены две выборки, имеющие отличительные друг от друга морфометрические особенности: торосы дрейфующего льда и припайные торосы. Основным инструментом исследования морфометрии ледяных образований (ЛО) в 21 веке является технология термобурения с записью скорости бурения, разработанная в ААНИИ под руководством В.А. Морева. Анализ записей скорости бурения, полученных с высокой дискретностью, позволяет иметь детальную информацию о положении слоев льда разной плотности и полостей внутри ЛО, и в результате с высокой точностью и достоверности определять характеристики внутренней структуры. Комплекс исследования торосов также обычно включал: тахеометрическую съемку верхней поверхности, гидролокационную и видео съемки нижней поверхности, измерение блоков льда, слагающих парус тороса, измерение толщин ровного льда рядом с торосом, проведение физико-механических исследований льда.

Измерение блоков льда не требует сложного оборудования и больших человеческих ресурсов. Этот вид информации является наиболее доступным. Данные по 3382 блокам позволили уточнить зависимости между толщиной блоков и размерами паруса тороса, предложить зависимость между толщиной блоков и глубиной киля тороса, выявить общую закономерность, связывающую среднюю толщину блоков с параметрами внешней морфометрии торосов.

Учитывая, что параметры паруса тороса можно определять дистанционно бесконтактными методами, получение статистических связей между ними и другими морфометрическими характеристиками тороса представляет практическую ценность. Используя данные измерений на 129 торосах, получены эмпирические соотношения с высокими показателями детерминации между максимальной высотой паруса и другими морфометрическими параметрами; предложены зависимости между ширинами киля и паруса, площадями средних сечений киля и паруса.

Показана зависимость средней толщины КС торосов от температурных условий района с учетом оценки среднего возраста торосов. Получено значение эмпирического коэффициента, показывающего отношение толщины КС к квадратному корню из суммы градусо-дней мороза. Выявлена общая закономерность связи между толщиной КС и параметрами внешней морфометрии торосов.

Представленные в работе отношения между различными характеристиками торосов позволяют перейти от одних параметров, которые относительно легко измерить, к другим, получение которых в полевых условиях более трудоемко, и тем самым позволяют восстановить всю необходимую морфометрическую информацию о торосах в локальном районе, необходимую для расчета ледовых нагрузок.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ БАЗАЛЬНОГО ТАЯНИЯ ЛЬДА В БАССЕЙНЕ ПРИАТЛАНТИЧЕСКОЙ АРКТИКИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Даньшина А.В.

ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
danshina@aari.ru

Ключевые слова: Арктический бассейн, численное моделирование, модели океана, морской лед.

В условиях текущего глобального потепления в Арктике за последние десятилетия резко уменьшилась площадь и толщина ледяного покрова, а также произошли изменения и в возрастном

составе льда – значительно сократилась площадь морского льда возрастом не менее 5 лет. Перенос тепла в океане на север, а также его изменчивость влияют на морской ледяной покров Арктического бассейна, тем самым способствуя потеплению или охлаждению его водной тощи.

В данном исследовании рассматриваются изменения, происходящие в скорости базального таяния льда в приатлантической Арктике на основе данных численного моделирования. При оценке скорости базального таяния ледяного покрова использовались реконструированные термохалинные поля и поля скорости течений, полученные в ходе проведения расчетов с 2000 по 2020 гг. на региональной модели NEMO v3.6 с высоким пространственно-временным разрешением. Данная конфигурация модели NEMO была адаптирована под условия Арктического региона с заданием атмосферных форсингов на основе данных реанализа ERA5 и заданием условий на открытых жидких границах на основе данных океанского реанализа MERCATOR.

Для получения оценки переноса тепла из океана к ледяному покрову для условий сплоченного льда, наблюдавшихся в начале текущего столетия, а также в современных условий разреженного льда, был произведен расчет изменений во времени теплозапаса, а также адвективный поток тепла в нескольких расчетных слоях водной толщи исследуемого бассейна.

При дальнейшем исследовании тесноты связи между базальным таянием ледяного покрова и рассчитанными потоками тепла, теплозапасом были выделены области, в которых влияние адвекции тепла и теплозапаса на скорость таяния льда наиболее велико.

Анализ изменения скорости таяния на нижней границе ледяного покрова в зимние месяцы выявил, что в целом в современных климатических условиях наметилась тенденция по расширению зон в районе кромки ледяного покрова в приатлантической Арктике, особенно в феврале и марте, где значения скорости таяния значительны.

Работа выполнена в рамках плановой научной тематики ААНИИ по теме 3.1.5 плана НИТР Росгидромета.

УСВОЕНИЕ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИТОПЛЕННЫХ БУЙКОВЫХ СТАНЦИЙ В МОДЕЛИ ГИДРОФИЗИЧЕСКОГО РЕЖИМА РОССИЙСКОГО АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА

Дейнего И.Д.[1,2], Беляев К.П.[2]

[1]АНЦ, г. Москва, Россия
[2]ИО РАН, г. Москва, Россия
deinego182@gmail.com

Ключевые слова: математическая модель, динамико-стохастическая ассимиляция, обобщенный фильтр Калмана, Арктический шельф.

Разработка методов усвоения данных и алгоритмов их реализации – одно из важнейших направлений в развитии прогнозирования динамики океана. Наиболее эффективные методы усвоения позволяют использовать различные данные наблюдений гидрофизических характеристик океана с учетом их структуры и достоверности, и значительно повышать прогностические качества исследуемой модели. Ценность прогностических систем высокой точности для безопасного и эффективного использования морских ресурсов не вызывает сомнений.

В докладе будет представлен один из современных методов усвоения данных — Ансамблевый Фильтр Калмана в его нестандартной реализации. Эффективность предложенного подхода будет продемонстрирована для модели метео-гидрофизического режима Российского Арктического бассейна. Будет описан алгоритм усвоения данных серии притопленных буйковых станций, установленных в морях Карском, Лаптевых и Чукотском для модели динамики вод всего бассейна Российского Арктического шельфа, а также для субрегиональных моделей высокого разрешения; дана оценка обусловленности изменений, вносимых процессом усвоения в расчетные результаты модели: крупномасштабного изменения тренда климатического режима региона, а также коррекции локальных трехмерных структур течений; будет

представлено сравнение эффективности усвоения различных характеристик, а также совместного усвоения двух наблюдаемых характеристик; проанализирована возможность повышения точности прогнозов процессов ледообразования в Арктическом регионе с использованием данных наблюдений термохалинных характеристик, полученных в летний период.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ЗСБ ДЛЯ КАРТИРОВАНИЯ МЕРЗЛОТЫ НА АКВАТОРИИ И ПРИМЫКАЮЩЕЙ СУШЕ АРКТИЧЕСКИХ АРХИПЕЛАГОВ

Демидов Н.Э.[1], Гунар А.Ю.[2], Кошурников А.В.[2], Нарижная А.И.[3], Дмитриев И.В.[1]

[1]ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
[2]МГУ, г. Москва, Россия
[3]ИФА РАН, г. Москва, Россия
nikdemidov@mail.ru

Ключевые слова: Арктический шельф, субмаринная мерзлота, ЗСБ, Шпицберген, Земля Франца Иосифа.

В отношении геокриологической изученности арктические архипелаги в связи со своей труднодоступностью до настоящего времени являют собой неисследованные “белые пятна”. Еще меньше известно о субмаринной мерзлоте на арктическом шельфе. В тоже время, происходящая в наши дни активизация в освоении Северного морского пути и месторождений в Арктике требуют знания инженерно-геологических условий на арктическом побережье и шельфе, которые во многом определяются мерзлотным фактором. Субмаринная мерзлота является также важной составляющей климатической системы Земли, так как содержит значительные количества парниковых газов и захороненного органического углерода, которые могут вовлечься в современный биогеохимический круговорот в случае ее деградации.

Для изучения геокриологических условий арктических архипелагов и прилегающего шельфа в научных и прикладных целях необходимо применение геофизических методов, которые могли

бы применяться компактными полевыми отрядами в условиях практически постоянного существования снежного и ледового покрова. Неоспоримыми преимуществами для решения подобных задач обладает метод электроразведки зондированием становления поля в ближней зоне (ЗСБ). Метод основан на возбуждении электромагнитного поля в среде путем включения-выключения тока в генераторной петле с последующим наблюдением за сигналом «становления поля». Преимущества метода ЗСБ в Арктике связаны с высокой контрастностью электрических свойств твердомерзлых пород относительно талых и пластичномерзлых. Данный метод обладает хорошей производительностью и не требует применения тяжелой техники, что может быть решающим фактором при работе на морском льду. Отдельно следует отметить отсутствие необходимости заземления электродов, что в случае работы в зимний период является решающим фактором при выборе полевых методов исследования. Отработка методики изучения мерзлых толщ методом ЗСБ в условиях высокоширотной Арктики проводилась нами в 2019–2021 гг. на Шпицбергене в рамках Российской арктической научной экспедиции на архипелаге Шпицберген и на архипелаге Земля Франца Иосифа в рамках рейса Арктического плавучего университета. В качестве аппаратуры использовались ЦИКЛ-R8 (Россия), работающий в варианте конфигурации генераторной и приемной петель «петля в петле», и аппаратура Tem-Fast (Нидерланды), в которой реализован однопетлевой вариант.

На Шпицбергене работы проводились в долинах Грендален, Грен-фьорд, Холлендар, Мимер, Свеа с выходом на припайный лед. В результате обработки полученных данных ЗСБ показано отсутствие твердомерзлых пород на акватории. На суше слой мерзлоты, подстилаемый, предположительно засоленными породами, нарастает по направлению от моря вглубь долины. Смыкание твердомерзлой толщи со скальными породами зарегистрировано на расстоянии от 1 до 3 км от берега. На архипелаге Земля Франца Иосифа работы проводились на островах Хейса, Белл и Гуккера с выходом на припайный лед. Здесь твердомерзлые породы на акватории также не были обнаружены.

Факт отсутствия твердомерзлых пород на акватории Шпицбергена и Земли Франца Иосифа требует заверки в ходе дальнейших исследований. Но уже сейчас можно выдвинуть гипотезу, что различие в условиях на акватории этих архипелагов и на

шельфе моря Лаптевых, где ранее под данным ЗСБ, заверенным бурением, твердомерзлые породы были обнаружены, продиктованы различием в тенденциях изменения относительного уровня моря в позднечетвертичное время. В то время как повышение уровня моря и затопление обширных пространств континентальных мерзлых пород обусловило широкое развитие субмаринной мерзлоты на шельфе моря Лаптевых, Шпицберген и Земля Франца Иосифа в голоцене испытывали воздымательные движения, и условия для захоронения континентальной мерзлоты на окружающем шельфе не возникали.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В НОРВЕЖСКОМ МОРЕ ОТ ПРИДОННОГО ИСТОЧНИКА

Дианский Н.А.[1,2,3], Морозов Е.Г.[4], Фомин В.В.[2,3], Фрей Д.И.[4]

[1]МГУ, г. Москва, Россия
[2]ГОИН, г. Москва, Россия
[3]ИВМ РАН, г. Москва, Россия
[4]ИО РАН, г. Москва, Россия
nikolay.diansky@gmail.com

Ключевые слова: вихреразрешающее моделирование, океанические течения, крупномасштабная циркуляция, Норвежское море, перенос загрязнений, придонный слой.

Для оценки радиационной угрозы от атомной подводной лодки (АПЛ) «Комсомолец», лежащей на северо-восточном свале Норвежского моря на глубине 1680 м, в связи с возможным выходом радионуклидов из реакторного отсека в прилегающую морскую воду, выполнены расчеты распространения радиоактивного загрязнения (РЗ) цезием-137 (^{137}Cs) как пассивной примеси с помощью океанской модели INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model). Расчеты показали, что в придонном слое РЗ, в основном, распространяется вдоль свала глубин к северу и югу от источника. Такая изменчивость направления переноса РЗ вызвана изменчивостью придонных скоростей течений,

которая хорошо подтверждается данными измерений. С удалением от источника концентрация РЗ существенно уменьшается вследствие разбавления окружающими водами. В толще моря концентрация на несколько порядков меньше, чем в источнике. Рассчитано поступление РЗ в поверхностные воды за счет турбулентного перемешивания и конвективных движений вод в сложной трёхмерной структуре циркуляции Норвежского моря. Показано, что наблюдаемое в измерениях превышение поверхностной концентрации РЗ над придонной не может быть связано с выбросами от АПЛ «Комсомолец». Приповерхностная концентрация РЗ с большой долей вероятности вызвана распространением РЗ от ядерных перерабатывающих предприятий в Северной Европе. В целом показано, что возможное на настоящий момент РЗ от АПЛ «Комсомолец» не превышает фоновый уровень радиоактивного загрязнения вод Норвежского моря.

ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ МИКРОСЕЙСМ ОТ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ НА ШЕЛЬФЕ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Долгих С.Г., Цымбал А.А.

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
akk.alexs1997@gmail.com

Ключевые слова: микросейсмы, ветровые волны, лазерный деформограф, лазерный измеритель вариаций давления гидросферы.

Для оценки зависимости микросейсм от ветрового волнения рассмотрим экспериментальные данные, полученные с помощь лазерно-интерференционного комплекса за июль 2007 г. и июль 2015 г. Данные микросейсм были получены с помощью лазерного деформографа с длиной измерительного плеча 52,5 м и ориентацией «север-юг». Данные ветрового волнения были получены с помощью лазерного измерителя вариаций давления гидросферы, установленного на шельфе Японского моря примерно в

200 м от берега на глубинах 27 м в 2007 г. и 33 м 2015 г. Для оценки скорости и направления ветра были использованы данные метеостанции, установленной в непосредственной близости от лазерного деформографа. Обработка многочисленных записей лазерно-интерференционных приборов проходила в 2 этапа. На первом этапе по данным метеостанции выбирались участки записей приборов с продолжительным (более суток) ветром одного направления. Затем полученные записи были отфильтрованы полосовым фильтром Хэмминга в пределах от 30 мГц до 1 Гц. Для анализа рассматривались динамические спектрограммы и спектры записей лазерного деформографа и лазерного измерителя вариаций давления гидросферы.

Анализ динамических спектрограмм и спектров записей лазерно-интерференционных приборов за 2007 г. показал присутствие колебаний с одинаковыми периодами. На записях лазерного деформографа были зарегистрированы микросейсмы с периодами от 9 до 11,5 с 14 июля 2007 г., а на записях лазерного измерителя вариаций давления гидросферы было зарегистрировано ветровое волнение в пределах от 8,7 до 12 с в тоже время. Затем период ветрового волнения стал уменьшаться 17 июля до 7–9 с, а 21 июля он составил 5,9 с. Период регистрируемых микросейсм соответствовал периодам ветрового волнения и уже 17 июля они были в пределах 7–9 с, а 21 июля период микросейсм составил 5,5 с.

В июле 2015 г. на записях лазерно-интерференционных приборов в исследуемом диапазоне частот регистрировались колебания с периодами около 6 с. При анализе динамических спектрограмм и спектров записей лазерного деформографа были выделены микросейсмы с периодами в пределах от 4,5 до 6 с. Анализ динамических спектрограмм и спектров записей лазерного измерителя вариаций давления гидросферы показал присутствие ветрового волнения с периодами от 5,5 до 7 с при скорости ветра от 3 до 4 м/с южного и юго-западного направления.

Исследование ветрового волнения и микросейсм по данным лазерного деформографа и лазерного измерителя вариаций давления гидросферы показал, что при периодах ветрового волнения около 9 с регистрируются микросейсмы с такими же периодами, а при ветровом волнении с периодами около 6 с регистрируются микросейсмы с меньшими периодами. Данное явление можно объяснить местом расположения лазерного измерителя вариаций

гидросферы, который располагался примерно в 200 м от берега. Длина ветровой воны с периодом около 9 с в несколько раз больше глубины установки прибора и ветровое волнение переходило с микросейсмические колебания при глубине моря больше либо равном глубине установки прибора. То есть при глубине моря равной или меньшей ½ длины волны. А при ветровом волнении с периодом около 6 с длина волны соизмерима с глубиной установки прибора и передача энергии ветрового волнения микросейсмическим колебаниям верхнего слоя земной коры происходило на меньшей глубине. По мере движения ветровой волны по шельфу убывающей глубины волна взаимодействует с дном теряя часть своей энергии, что приводит к трансформации ее спектра, энергия в ней перераспределяется в более высокочастотную область.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-05-80011).

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ БИОГЕНОВ НА СОСТОЯНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Дорофеев В.Л., Сухих Л.И.

МГИ, г. Севастополь, Россия
viktor.dorofeev@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Черное море, морская экосистема, численное моделирование, биогенные вещества.

В работе анализируется роль, которую играют различные источники неорганического азота, поступающего в верхний слой Черного моря, на состояние и динамику морской экосистемы. Исследование проводится на основе трёхмерной междисциплинарной модели нижнего уровня пищевой цепи экосистемы Черного моря. Для пелагической экосистемы Черного моря азот является наиболее лимитирующим фактором для первичной продукции. Существуют несколько основных источников поступления неор-

ганических соединений азота в верхний слой моря. Первым является антропогенная нагрузка за счет стока рек (главным образом Дуная, дающего до 60 % выносов). Этот источник поступления неорганического азота сосредоточен, главным образом, на северо-западном шельфе Черного моря, откуда биогенные вещества могут поступать во внутреннюю часть моря с помощью течений. Вторым источником является перенос аммония за счет вертикальных движений в верхние слои моря из глубоководных, где его концентрация высока наряду с концентрацией сероводорода. Существует также третий источник, связанный с атмосферными осадками. Однако, по оценкам других авторов он мал для Черного моря. В работе на основе результатов численного моделирования по модели морской экосистемы проводится оценка значения каждого из первых двух источников поступления соединений неорганического азота на состояние экосистемы Черного моря, а также на возможные изменения в её режимах.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОТЬ ВКЛАДОВ БАРОТРОПНОЙ И БАРОКЛИННОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ЭНЕРГЕТИКУ ЦИРКУЛЯЦИИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Дымова О.А., Демышев С.Г., Миклашевская Н.А.

МГИ, г. Севастополь, Россия
olgadym@yahoo.com

Ключевые слова: циркуляция, вихревая кинетическая энергия, механизмы изменчивости.

Структура циркуляции Черного моря существенно зависит от внешних атмосферных условий. В зависимости от режима циркуляции в балансе энергии преобладают те или иные физические процессы, поэтому представляет интерес сезонная изменчивость механизмов формирования и эволюции вихрей для различных режимов.

В работе на основе результатов численных прогностических экспериментов выполнены оценки компонентов бюджета вихре-

вой кинетической энергии на сезонном масштабе. Детально рассмотрены изменчивость поля скорости течений и проанализированы скорости преобразования вихревой кинетической энергии за счет процессов баротропной и бароклинной неустойчивости.

Получено, что в зависимости от атмосферных условий в Черном море могут устанавливаться два типа средней циркуляции: режим бассейновой циркуляции или режим вихревой циркуляции. Механизмы вихревой изменчивости различны для этих двух режимов. Зимой, когда ОЧТ наиболее интенсивно, независимо от режима циркуляции вихревые структуры развиваются преимущественно за счет баротропной неустойчивости. Летом вихревая изменчивость в режиме бассейновой циркуляции обусловлена соизмеримыми вкладами баротропной и бароклинной неустойчивости, а в режиме вихревой циркуляции только поступлением энергии за счет бароклинной неустойчивости.

Работа выполнена в рамках темы госзадания 0555-2021-0004.

РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИРКУЛЯЦИИ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С УЧЕТОМ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ЛЕТНИЙ СЕЗОН 2016 Г.

Евстигнеева Н.А., Демышев С.Г.

МГИ, г. Севастополь, Россия
naevstigneeva@yandex.ru

Ключевые слова: численное моделирование, энергетический анализ, ассимиляция данных наблюдений, гидрофизические поля, мезомасштабные особенности циркуляции.

Данное исследование посвящено анализу результатов численного моделирования циркуляции Черного моря на основе ассимиляции в гидродинамической модели данных гидрологических измерений, а также изучению особенностей циркуляции на основе анализа энергетических характеристик.

Непрерывные по времени и пространству поля уровня, скорости течений, поля температуры, солености, температуры, солености Черного моря, а также энергетических компонентов в уравнениях бюджета кинетической и потенциальной энергий реконструированы с пространственным разрешением ~1,6 км по горизонтали и 27 горизонтов по вертикали с помощью гидродинамической модели и данных наблюдений по температуре и солености в период проведения 87-го рейса НИС «Профессор Водяницкий». В ходе экспедиции в период с 30 июня по 18 июля было выполнено 125 станций.

В качестве инструмента исследования выбрана z-координатная трехмерная нелинейная модель Черного моря, которая была разработана в МГИ. В процедуре ассимиляции данных наблюдений, основанной на фильтре Калмана, учитывалась неоднородность и неизотропность ошибок оценок полей температуры и солености. На поверхности моря задавались поля тангенциального напряжения трения ветра, потоки тепла, коротковолновой радиации, осадков и испарения, полученные по данным греческого центра атмосферных прогнозов SKIRON (1/10º). Общее время интегрирования уравнений модели – 21 день (с 28 июня по 18 июля 2016 г.).

В течение расчета наблюдались вихри различного знака вращения с радиусом около 30 км в западной части области и циклонический вихрь с радиусом около 40 км в восточной глубоководной части области. Антициклонический вихрь с радиусом около 25 км вблизи г. Ялта формировался квазипериодически и перемещался по направлению движения ОЧТ. Также генерировались интенсивные струи вдоль Крымского побережья и вихри малых масштабов различного знака вращения в верхнем слое вдоль побережья Крыма и на северо-западном шельфе. Существование полученных вихрей противоречило спутниковым наблюдениям за поверхностной температурой.

По результатам расчета получено, что основной вклад в кинетическую энергию вносила работа силы ветра. Потеря энергии происходила за счет диссипации вследствие вертикального и горизонтального внутреннего трения. Вклад работы силы плавучести, адвекции кинетической энергии и работы силы давления был незначителен. Изменение потенциальной энергии определялось,

в основном, горизонтальной турбулентной диффузией и адвекцией потенциальной энергии.

Проанализированы трехмерные поля энергетических характеристик циркуляции (диссипации энергии вследствие горизонтального и вертикального внутреннего трения, силы плавучести, а также слагаемого, определяющего вклад в кинетическую энергию от ветра) на каждые сутки периода интегрирования, предложены возможные причины формирования особенностей в гидрофизических полях.

Исследование проведено в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0004 (шифр «Океанологические процессы»).

СРАВНЕНИЕ ЛЕТНИХ И ЗИМНИХ ОСАДКОВ В КРЫМУ НА ПРИМЕРЕ ДАННЫХ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ефимов В.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия
vefim38@mail.ru

Ключевые слова: численное моделирование, осадки, циклон.

В докладе рассмотрены результаты численного моделирования и приведены сравнительные характеристики летних и зимних атмосферных осадков в Крыму. На примере развития конвективной активности в июле 2018 г. показаны суточная динамика и связанные с бризовой циркуляцией особенности распределения конвективных облаков над территорией Крыма. Выполнен анализ баланса влаги и приведены количественные оценки механизма осадкообразования в летний период. На примере моделирования случая осадков в декабре 2018 г., произошедших в условиях прохождения холодного фронта на периферии циклонического образования, отмечена особенность механизма осадкообразования в зимнее время, связанная с адвективным переносом влаги. Также рассмотрено формирование интенсивных осадков в зимний и летний сезон в области Крымских гор. Характерной особенностью

осадков в летний период является их суточная периодичность и внутренний влагооборот. Влияние бризов приводит к локализации конвективной облачности и осадков в центральных областях полуострова. Зимняя облачность, формирующая осадки в Крыму, преимущественно относится к слоисто-дождевым облакам, локализация осадков зависит от направления воздушных потоков: внешний влагооборот является определяющим в зимнее время. Область наиболее высоких гор относится к зоне максимального выпадения осадков в оба периода года

ВИХРЕВЫЕ КОГЕРЕНТНЫЕ СТРУКТУРЫ В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ МОРЯ

Ефремов О.И., Чухарев А.М.

МГИ, г. Севастополь, Россия
efremov39@list.ru

Ключевые слова: комплекс аппаратуры, вихревые волны, когерентные структуры, вертикальное перемешивание.

Различные явления, связанные с завихренностью поля ветровых волн, исследовались при измерениях на океанографической платформе в Кацивели с помощью созданного в МГИ РАН комплекса аппаратуры, включающего приборы «Сигма», «Восток-М» и струнный волнограф. Кроме того, использовался акустический измеритель скорости течения ADCP.

Прибор «Сигма» предназначен для исследования мелкомасштабных процессов в верхнем слое моря и измеряет три компоненты пульсаций вектора скорости течения, температуру и электропроводность воды, и гидростатическое давление с частотой отсчетов 100 Гц. Прибор «Восток-М» (МГИ-1306) дает возможность определять с дискретностью 30 или 60 секунд модуль и направление горизонтального вектора скорости течения при любом положении прибора относительно магнитного меридиана. Каналы измерения температуры и электропроводности «Востока-М» обладают достаточно хорошей точностью и высокой

стабильностью, что позволяет проводить дополнительный контроль этих параметров, получаемых комплексом «Сигма». Данные комплекса «Сигма» осреднялись по 50 и 100 отсчетов для анализа собственно волновой части спектра и по 120 и 60 точек для совместной обработки с данными прибора «Восток-М».

Вихревые поверхностные волны, являясь составной частью поля ветровых волн, в процессе своего распространения непрерывно генерируют сравнительно низкочастотные вращательные движения частиц жидкости. Доля вихревой энергии в волнах Герстнера оценивается как четвертая степень их крутизны и составляет примерно 10^{-3} от общей энергии волн.

Расчет когерентности между модулем горизонтальной скорости и значениями температуры и электропроводности, измеряемыми прибором «Восток-М», выбран основным методическим приемом обнаружения индуцированных волнами вихрей. Дополнительно для этой же цели используются данные каналов температуры и электропроводности комплекса «Сигма», осредненные соответствующим образом.

Получаемые функции когерентности содержат ряд максимумов в диапазоне периодов от одной до восьми минут, соответствующих наличию спектральной корреляции флуктуаций скорости с температурой и электропроводностью. Последовательность значений этих максимумов в определенной мере соответствует возрастающей геометрической прогрессии со знаменателем, близким к числу 2. Первый член такой последовательности по имеющимся моделям определяется периодом основной волны и ее крутизной.

Когерентность между данными по температуре и электропроводности, полученными приборами «Сигма» и «Восток-М», которые по методике постановки разнесены по горизонтали примерно на пять метров, используется для оценки размеров исследуемых вихревых структур. Наблюдаемые провалы когерентности на периодах порядка две минуты здесь могут означать, что соответствующие размеры вихревых структур меньше расстояния между приборами. На периодах порядка шести и восьми минут провалы когерентности отсутствуют, что скорее всего соответствует расположению обоих приборов внутри одной крупной вихревой структуры.

ПРИНЦИП МАКСИМУМА ЭНТРОПИИ В ТЕОРИИ СЛУЧАЙНО ВОЗМУЩЕННЫХ СИСТЕМ

Журавлев В.М.[1,2]

[1]*Самарский университет, г. Самара, Россия*
[2]*УлГУ, г. Ульяновск, Россия*
zhvictorm@gmail.com

Ключевые слова: Принцип максимума энтропии, метод Рейнольдса, турбулентность, случайно возмущенные системы.

В работе рассматривается проблема усредненного описания случайно возмущенных систем, основанное на использовании принципа максимума энтропии. Такая задача возникает, например, в различных задачах гидродинамики, связанных с описанием турбулентных течений. Однако общий круг задач, решаемых в рамках предлагаемого подхода гораздо шире. В рамках данного подхода удается разрешить проблему замыкания моментов случайного процесса, известную как проблема Рейнольдса, и получить замкнутое описание динамики, включающее систему уравнений для всех моментов случайного процесса.

В работе излагается общая идеология метода максимальной энтропии совместно с методом Рейнольдса и приводятся примеры использования данного подхода к задачам турбулентности и некоторых типов динамических систем. Описание турбулентности несжимаемой жидкости в рамках данного подхода ранее предлагалось в работе [1], а для задач динамики конечномерных систем в [2].

1. Журавлев В.М. Турбулентность течений несжимаемой жидкости вблизи локального равновесия и принцип вторичного максимума энтропии. ЖТФ, 2009, N1, с. 16-27

2. Журавлев В.М., Миронов П.П. Случайно-возмущенные динамические модели и метод максимальной энтропии. Вестн. Сам. гос. тех. ун-тета. Серия Физ.-мат. науки, 2013, N 1(30). С. 352-360.

3. Журавлев В.М., Миронов П.П. Динамика случайно-возмущенного уравнения Ферхюльста и метод максимальной энтропии. Известия вузов. Поволжский регион. Серия физико-математическая, 2013, N 2, с. 156-170.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ОЧАГИ ГЕНЕРАЦИИ ВНУТРЕННЕГО ПРИЛИВА И ПРОЯВЛЕНИЯ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ТИХООКЕАНСКОЙ АКВАТОРИИ КУРИЛО-КАМЧАТСКОГО РЕГИОНА

Зимин А.В.[1,2], Жегулин Г.В.[1], Свергун Е.И.[1,2], Софьина Е.В.[1], Лазуткина Е.С.[2]

[1]ИО РАН, г. Москва, Россия
[2]СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
gleb-jegulin@rambler.ru

Ключевые слова: внутренние волны, tidal body force, радиолокационные изображения, Тихий океан

Цель работы – оценка наличия связи между местами потенциальной генерации внутреннего прилива и выявленными районами наибольшей встречаемости короткопериодных внутренних волн («горячими точками») по радиолокационным изображениям вблизи Тихоокеанского побережья полуострова Камчатка и Курильских островов за период с декабря 2018 г. по ноябрь 2019 г.

Исходными данными для работы послужили: ежемесячные оценки критериев генерации бароклинного прилива (tidal body force) для волн K1, M2 полученные на основании модельных данных и результаты обработки около 850 радиолокационных изображений со спутников серии Sentinel, равномерно покрывающих описываемый регион.

В летний период отмечается совпадение очагов потенциальной генерации внутреннего прилива и районов максимальной встречаемости проявлений короткопериодных внутренних волн на большей части рассматриваемой акватории. Установлено, что

в окрестности островов Кунашир и Зеленый районы, выделенные по критерию tidal body force, совпадают с областью «горячих точек», и здесь доминирует генерация под влиянием суточного прилива. Около острова Онекотан при схожей ситуации на генерацию короткопериодных волн влияют как суточный, так и полусуточный приливы. Возле Камчатского полуострова районы частых проявлений короткопериодных волн находятся ближе к берегу по отношению к очагам потенциальной генерации внутренних приливных волн.

РОЛЬ СЕЙШ В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ЭКОСИСТЕМ ПОЛУЗАМКНУТЫХ МОРЕЙ

Инжебейкин Ю.И.

ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону

Ключевые слова: Азовское море, Белое море, сейшевые течения, устойчивость экосистем.

Сейши одни из наиболее распространенных видов движений, в прилегающих к России в полузакмкнутых южных морях континентального шельфа – Азовском и Черном. Но пространственное распределение интенсивности этих движений и их роль в функционировании экосистем Азовского и Черного морей изучены недостаточно. Рассмотрим это на примере сейшевых движений в двух полузамкнутых морях с небольшими площадями акваторий (в Азовском и Белом морях). Сейши в Азовском и Белом морях могут быть вызваны резкими изменениями полей ветра или атмосферного давления собственно над этими морями при быстро перемещающихся циклонах и антициклонах. или входящими из смежных морей (Черного, Баренцева) волнами штормового нагона. Для образования сейш достаточно сравнительно небольшой энергии, поэтому в гипермелководном Азовском море одной из причин сейшевых колебаний может быть также локальное обильное выпадение дождя над какой-то частью акватории моря,

кратковременные весенние или дождевые паводки Дона или Кубани, а также попуски вод из Цимлянского и в меньшей степени Краснодарского водохранилищ. Негативное воздействие сейшевых колебаний на объекты коммунального хозяйства и на навигацию как в Белом море, так и в Азовском идентичны. Их наложение на штормовые нагоны может привести к катастрофическим наводнениям, приводящим к разрушению портовых сооружений, авариям на теплоэлектростанциях и остановке их работы (соленая морская вода проникает в рукава дельты Дона или Северной Двины, из которых происходит забор воды для ТЭЦ).

Что касается влияния на функционирование экосистемы моря, то тут имеются отличия. Конечно, термохалинная структура вод как Белого, так и Азовского моря имеет важное значение из-за определяющего влияния температуры и солености воды на состояние экосистемы этих морей и на их биопродуктивность. Но при этом важнейшим фактором, влияющим на функционирование экосистемы Азовского моря является вертикальная стратификация вод, ибо вертикальная устойчивость вод затрудняет вертикальный водообмен и аэрацию нижележащих слоев, способствуя развитию анаэробных процессов. Высокие значения вертикальной устойчивости вод Азовского моря имеют место в основном при продолжительных штилях и слабых ветрах (Коршенко, Панова, 2009). Анаэробные зоны могут формироваться на значительной части акватории моря-площадью до 20 тыс. км^2, вследствие чего происходит гибель придонных и донных организмов, что может повлиять отрицательно на всю экосистему моря (Куропаткин, 2001). Таким образом, высокая устойчивость элемента системы может привести к неустойчивости самой системы. А сейши, приводя в движение всю массу воды водоема, способствуют аэрации придонных вод. Основным механизмом такого влияния являются течения, имеющие периодический характер, период которых соответствует периоду сейш. При этом сейшевые течениярі при всех модах (от одноузловой до пяти узловых колебаний), резко возрастая в районах узлов и в отдельных прибрежных районах, имеют очень высокие скорости (0,5–1,5 м/с) и кое-где могут даже превысить максимальные скорости ветровых течений.

Если сравнить характеристики и значимость сейш в Азовском море с их аналогами в Белом море, то в последнем всегда присутствуют приливы и сильные приливные течения. Вот почему сейшевые движения в Белом море не играют такой важной роли для функционирования его экосистемы, как в Азовском море. Таким образом сейши в Азовском море обеспечивают закон конструктивной эмерджентности систем – система, сложенная из неустойчивых элементов, может оказаться вполне устойчивой.

СИНОПТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОЛОЖЕНИЯ ОСНОВНЫХ ТЕРМИЧЕСКИХ ФРОНТОВ ЮЖНОГО ОКЕАНА

Ионов В.В.

СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
v.ionov@spbu.ru

Ключевые слова: непрерывная регистрация температуры поверхностного слоя моря, меридиональные смещения климатических фронтов.

Начиная с 2006 г., приблизительно 60–90 % изменения теплосодержания Мирового океана, связанного с глобальным потеплением, поглощается Южным океаном. Однако нагревание его водных масс неоднородно. В то время как верхние 1000 м Южного океана, в Антарктическом циркумполярном течении (АЦТ) и к северу от него, быстро нагреваются примерно на 0,1–0,2 °С за десятилетие, поверхностные воды субполярных морей, к югу от этого региона, не нагреваются или немного охлаждаются.

В последнее десятилетие, для которого имеется больше всего измерений автономно плавающих буёв Арго, доля Южного океана в содержании тепла в глобальном слое вод 0–2000 м поднялась на 67 % до 98 % за период 2006-2014 гг., с явственным пиком в полосе широт АЦТ и севернее его (30°–50° с. ш.) [Sallée, 2018].

АЦТ – главная особенность непрерывного широтного водного кольца, охватывающего Антарктиду. Характерной чертой гидрологии поверхностных вод Южного океана является множественность фронтальных разделов водных масс различного происхождения. Главные фронты: Субтропический (СТФ), Субантарктический (САФ) и Полярный (ПФ). Последние формируются в пределах АЦТ [Holliday, Read, 1998].

Названные фронты регулярно пересекаются научно-экспедиционными судами (НЭС) снабжения Российской антарктической экспедиции в индо-океанском секторе (15–20° в. д. и 40–50° с. ш.) между Африкой и Антарктидой. Многолетние тенденции в межгодовых меридиональных смещениях главных фронтов могут быть проявлением глобального потепления поверхностного слоя вод Южного океана [Ионов, Лукин, 2017].

Экспериментальной основой исследований кафедры океанологии СПбГУ в Южном океане в 2007–2017 гг. на НЭС «Академик Фёдоров» служат непрерывные попутные контактные измерения температуры поверхностного слоя моря по ходу судна, и синхронные данные дистанционных (спутниковых) зондирований температуры поверхности моря радиометрами метеорологических спутников серии NOAA [Ионов, 2015].

Реализация такой морской наблюдательной системы позволяла получать в реальном масштабе времени горизонтальные градиенты температуры поверхностного слоя моря (ТПСМ) и протяжённости зон основных климатических фронтов по данным судовой автоматической метеостанции, и точного географического положения термических фронтов по спутниковым (AVHRR) изображениям поверхности океана в ИК-диапазоне электромагнитного спектра – температуре поверхности моря (ТПМ).

Это стало реальным благодаря двум важнейшим технологическим новшествам в использовании текущих данных in situ о ТПСМ, регистрируемых по ходу судна и дистанционных, спутниковых наблюдений за ТПМ; а именно, возможности весьма точного определения местоположения движущегося судна с помощью GPS и ГИС-технологий для работы на борту НЭС со спутниковыми изображениями поверхности океана.

В индийском секторе Южного океана в 2007–2017 гг. в межгодовых сезонных (в период астрального лета, декабрь) положениях климатических фронтов СТФ и САФ на поверхности моря

нами выявлена тенденция к их смещению на юг, как свидетельство потепления поверхностного слоя вод. 11-ти летний ряд наблюдений демонстрирует явный тренд к сдвигу СТФ и САФ (а, следовательно, более тёплых субтропических поверхностных вод) к Антарктиде.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛЯРНОЙ ФРОНТАЛЬНОЙ ЗОНЫ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ И ЕЕ СВЯЗЬ С АТМОСФЕРНЫМИ ОСЦИЛЛЯЦИЯМИ В XXI ВЕКЕ

Коник А.А.[1,2], Зимин А.В.[1,2]

[1]ИО РАН, г. Москва, Россия
[2]СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
konikrshu@gmail.com

Ключевые слова: Полярная фронтальная зона, NOA, EA, WRP, SKAND, Баренцево море.

В работе рассматривается изменчивость характеристик Полярной фронтальной зоны (ПФЗ) в Баренцевом море и оценивается влияние на них атмосферных процессов над Атлантическим океаном и Европой.

Исходными данными для работы по выделению фронтальной зоны послужила ТПМ, полученная по данным спутников Aqua и Suomi NPP VIIRS. ПФЗ идентифицировалась на основе кластерного анализа полей и градиентов ТПМ за период с 2002 по 2020 гг. Для определения наличия связи градиентов ТПМ и площади ПФЗ с циркуляцией атмосферы использовался корреляционный анализ и привлекались среднемесячные значения индексов NOA, EA, WRP, SKAND из архива http://www.cpc.ncep.noaa.gov.

Показано, что в ПФЗ градиент ТПМ на среднемесячном интервале варьирует от 0,03 до 0,09 °С/км, а ее площадь от 120 до 425 тыс. км^2. Чаще всего максимумы градиента отмечаются в июне–июле, с цикличностью 3–4 года. Максимум площади ПФЗ, как правило, наблюдаются в августе–сентябре. В области ПФЗ заметен тренд на увеличение ТПМ с 2011 г.

Установлено, что максимальные значимые коэффициенты корреляции отмечаются для зимних индексов SCAND и градиентов ТПМ в ПФЗ в летний сезон. Полученные сведения позволяют рассматривать возможность использования индексов атмосферной циркуляции в качестве предикторов для прогнозирования характеристик ПФЗ.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №20-35-90053 аспиранты.

РАСЧЕТ ВЕРТИКАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ СКОРОСТИ НА ВЛОЖЕННЫХ СЕТКАХ

Кочергин В.С., Кочергин С.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия
vskocher@gmail.com

Ключевые слова: динамическая модель, расчет вертикальной скорости, исключение схемной вязкости, Азовское море.

При численной реализации гидродинамических моделей особое место занимают процедуры вычисления вертикальной компоненты скорости, которая имеет большое значение при формировании динамических полей при интегрировании модели. Обычно для ее вычисления используется уравнение неразрывности несжимаемой жидкости. Следует отметить, что такое определение вертикальной скорости содержит значительные ошибки. Для уменьшения таких ошибок возможно за счет применения специальных алгоритмов, основанных на дифференцировании по вертикали уравнения неразрывности и организации процедуры прогонки с учетом обоих однородных краевых условий на поверхности моря и на дне. При таком подходе аппроксимация второй производной по вертикали естественно осуществляется со вторым порядком и схемная вязкость отсутствует. В данной работе предлагается комбинация решения задачи на двух сетках с разным шагом по глубине, т. е. в одном расчете уровней в два

раза больше чем в другом. Полученные при этом значения вертикальной скорости обозначим W_h и W_{2h}. Тогда можно записать корректор: $W = 2W_h - W_{2h}$ (1).

Отметим, полученные значения W удовлетворяют соответствующему уравнению неразрывности в силу линейности корректора. Численные эксперименты проводились с использованием модели для акватории Азовского моря. Для реализации процедуры идентификации мощности загрязнения был проведен расчет на установление модельного поля течений под воздействием постоянного восточного ветра со скоростью 10 м/с. В результате моделирования также было получено пространственное распределение коэффициентов модели. Поля скоростей и коэффициентов турбулентной диффузии использовались в качестве входной информации при интегрировании модели переноса пассивной примеси на срок 5 суток. В первом расчете использовалось 15 горизонтов по вертикали А во втором расчете было выбрано 30 горизонтов. Корректировка производилась по формуле (1) после выхода решения на стационар.

Проведенные численные эксперименты показали возможность корректировки значений вертикальной скорости за счет корректора специального вида, который позволяет исключать схемную вязкость на вложенных сетках, а откорректированная скорость даже превышает значения, полученные с мелким шагом по пространству. Используемый подход может быть применен при моделировании процессов переноса загрязнений в море для более адекватного их описания.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СКОРОСТИ ОСЕДАНИЯ МАЛЫХ ЧАСТИЦ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ БУЕВ БИО-АРГО

Кубряков А.А., Станичный С.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия
arskubr@ya.ru

Ключевые слова: скорость оседания, обратное рассеяние, Био-Арго, сезонная изменчивость.

В настоящей работе предложен метод оценки скорости оседания частиц на основе непрерывных измерений обратного рассеяния (b_{bp}) на длине 700 нм на буях Био-Арго. Оценка скорости оседания проводилась на основе контурного анализа аномалии b_{bp} в координатах глубина-время от его среднего профиля. Предложенный метод позволил получить данные о вертикальном распределении, сезонной и межгодовой изменчивости скорости оседания частиц в 2014–2020 гг. с вертикальным разрешением 5 м и временным – 1 месяц. Рассчитанные таким образом скорости колеблются от 0,2 до 2,0 м/сут. В среднем они равны 0,7 м/сут и имеют значительную сезонную изменчивость, которая во многом связана с физическими процессами.

В зимний период наибольшие скорости (1–1,5 м/сут) наблюдаются в поверхностных слоях в октябре-декабре и частично связаны с заглублением верхнего квазиоднородного слоя (ВКС). Ниже слоя ВКС скорости оседания составляют 0,7–0,8 м/сут, что близко к лабораторным оценкам скорости оседания кокколит. Зимой оседание частиц из верхнего слоя прослеживается вплоть до границы субкислородной зоны (160–180 м). Заглубление частиц приводит к увеличению скорости оседания частиц в этой зоне в весенне-летний период до значений 0,8–0,9 м/сут.

В летний период скорость оседания низка в верхних слоях со значениями 0,5–0,7 м/сут в 20–40 м слое. При этом заглубление сигнала совпадает с заглублением изопикны 1014 кг/м^3. Вероятно, опускание частиц в этом случае связано с физическими процессами заглубления слоя нейтральной плавучести при прогреве верхних слоев и уменьшении их плотности.

Наименьшие скорости наблюдаются с марта по август в слое 40–80 м. Минимум скорости оседания совпадает с положением пикно-халоклина, что говорит о значительной роли сил плавучести в опускании частиц. На этих глубинах летом частицы оседают на 20–40 м за более чем 6 месяцев и их скорость оседания составляет всего 0,2–0,5 м/сут.

На межгодовых масштабах отмечено увеличение скорости оседании в 1,5–2,0 раза во время наиболее сильных цветений кокколитофорид летом 2017 г. и зимой 2018 г. Рост концентрации частиц, вероятно, приводит к интенсификации образования агрегатов и росту скорости оседания.

Работа выполнена в рамках гос. задания № 0555-2021-0006 (шифр «Перспективные методы») и гранта РНФ №20-17-00167.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ КОККОЛИТОФОРИД В ЧЕРНОМ МОРЕ НА ОСНОВЕ ОБЪЕДИНЕННОЙ ОДНОМЕРНОЙ МОДЕЛИ NEMO-BFM

Кубряков А.А., Лишаев П.Н., Кубрякова Е.А., Мизюк А.И.

МГИ, г. Севастополь
elena_kubryakova@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, кокколитофориды, NEMO, BFM.

Одним из наиболее распространенных видов фитопланктона, обитающего в Черном море, являются кокколитофориды вида *Emiliania huxley*. Эти водоросли имеют важную особенность: они преобразуют углекислый газ в карбонат кальция, создавая вокруг себя скелет из известняковых пластин – кокколит. Этот процесс значительно влияет на баланс неорганического углерода, способствуя сокращению количество углекислого газа в атмосфере. В работе представлены результаты моделирования сезонной изменчивости кокколитофорид на основе объединенной одномерной модели NEMO-BFM для Черного моря.

Согласно литературным и натурным данным развитие кокколитофорид в Черном море начинается в верхнем слое после весеннего цветения диатомей, в мае-июне. Среди возможных причин развития кокколитофорид в этот период выделяют их способность потребления растворенного органического вещества (РОВ) – осмотрофию. В верхнем слое под воздействием солнечной радиации в процессе фотодеградации РОВ становится лабильным. Такой процесс позволяет объяснить, зачем в летний период в верхнем слое на кокколитофоридах появляется большое количество кокколит, защищающих их от избыточной солнечной радиации и в то же время позволяющих оставаться в верхнем слое, где находится лабильное РОВ.

Используемая конфигурация модели включает расчет концентраций мелких и крупных диатомовых водорослей, кокколитофорид, мезо- и микрозоопланктона, бактериопланктона. В модель

были добавлены параметризации для описания процессов осмотрофии и фотодеградации. Это позволило воспроизвести сезонную изменчивость кокколитофорид, характерную для центральной части Черного моря: развитие цветения с конца апреля по июль в верхнем 20-метровом слое, что согласуется с данными буев Био-Арго; в отдельные годы наблюдается зимнее цветение кокколитофорид.

Настройка одномерной биогеохимической модели BFM для Черного моря и валидация полученных модельных результатов выполнены при поддержке гос. темы №0555-2021-0007, исследование сезонной изменчивости кокколитофорид по модельным данным выполнено в рамках гранта РНФ №20-17-00167.

ОПЕРАТИВНЫЙ ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ ВОД НА ЧЕРНОМОРСКОМ ПОДСПУТНИКОВОМ ПОЛИГОНЕ «ГЕЛЕНДЖИК»

Кубряков А.И.[1], Григорьев А.В.[2]

[1]МГИ, г. Севастополь, Россия
[2]ГОИН, г. Москва, Россия
ag-privat@mail.ru

Ключевые слова: оперативная модель, технология вложенных сеток, циркуляция вод, сигма-координаты, подспутниковый полигон, субмезомасштабные процессы.

Представлена разработанная на основе технологии двойного вложения сеток σ-координатная оперативная модель прогноза состояния вод на Черноморском подспутниковом полигоне в районе г. Геленджик. Данные для задания начальных и граничных условий модели поступают из Черноморской прибрежной прогностической системы. Модель способна воспроизводить субмезомасштабную изменчивость течений на полигоне. Приведен пример трехдневного прогноза полей температуры, солености и скорости течений для летнего и зимнего сезонов.

В модели воспроизведен наблюдаемый по данным долговременных измерений в районе полигона колебательный характер вдольберегового течения, когда оно в течение суток может изменить свое направление на противоположное.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЗОННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРИБРЕЖНОГО ТЕЧЕНИЯ У ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА ЗА 2002–2020 ГОДЫ

Кузнецов А.С.

МГИ, г. Севастополь, Россия
kaskasev@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, шельфовая зона, прибрежное течение, сезонные колебания, инструментальный мониторинг.

Как известно сезонная изменчивость уровня Черного моря в основном определяется соотношением составляющих водного баланса в течение года. Однако в ряде случаев, собственные низкочастотные водобалансовые колебания вызывают малые вертикальные колебаниях морской поверхности и, из-за не достаточной разрешающей способности современных измерителей уровня моря, достоверно не выявляются. Сезонные колебания течений на годовом периоде и его гармониках обусловлены, как правило, годовым ходом солнечной радиации при сезонных изменениях состояния гидросферы, атмосферы и ветровой циркуляции. Деформационные колебания уровня Черного моря, включая сгонно-нагонные явления, сейши, градиентно-вихревые волны и т.п., обусловлены региональными анемобарическими и топографическими факторами, имеют существенно меньшие временные масштабы при интенсивной изменчивости уровня моря. Поэтому на фоне систематически возникающих деформационных колебаний морской поверхности непосредственный вклад сезонных колебаний течений в значения уровня моря несравнимо мал. В настоящее время наименее изучены сезонные и междугодичные колебания течений Черного моря. Основной причиной такого состояния дел является отсутствие репрезентативных данных длительных натурных измерений течений на годовых и более продолжительных временных интервалах. Получение новых знаний о сезонной изменчивости характеристик региональных течений в Черном море является актуальной задачей.

Морской гидрофизический институт (МГИ) десятилетиями осуществляет инструментальный мониторинг и исследования изменчивости прибрежных течений, гирометеорологических условий и уровня морской поверхности на Черноморском гидрофизическом подспутниковом полигоне у мыса Кикинеиз Южного берега Крыма (ЮБК). По результатам мониторинга прибрежных течений со стационарной платформы полигона антенной эйлеровых измерителей за период 2002–2020 гг. сформирована и прошла государственную регистрацию база соответствующих векторных данных. Анализ полного пространственно-временного набора векторно-осредненных рядов позволил детализировать, упорядочить и систематизировать научные знания о вертикальной структуре, режимных характеристиках и изменчивости прибрежного течения у ЮБК.

За 19-летний период исследований с высокой точностью выделены обобщенные режимные характеристики и определена изменчивость вертикальной структуры квазистациорнарного прибрежного течения у ЮБК для основных сезонов года при смене природных условий и стратификации вод. Из материалов предыдущих исследований известно, что бимодальное распределение повторяемости направления прибрежного течения возникает в результате взаимодействия этого течения с интенсивными разномасштабными волновыми и вихревыми образованиями шельфово-склоновой зоны Черного моря. За весь период наблюдений из векторно-осредненных двухнедельных реализаций течений выделен только однонаправленный вдольбереговой поток прибрежных вод запад-юго-западного направления. В спектрах плотности кинетической энергии прибрежных течений по всей глубине выражены интенсивные статистически достоверные сезонные колебания, которые сосредоточены возле годового периода, второй (182,6 сут) и третьей (121,7 сут) его гармоник.

Представленные результаты способствуют повышению степени обобщенности новых знаний о сезонной изменчивости вод прибрежно-шельфовой зоны Черного моря.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0005 «Прибрежные исследования».

ОЦЕНКА ИЗМЕНЧИВОСТИ УРОВНЯ МОРЯ И СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЙ В ЕВРОПЕЙСКОМ СЕКТОРЕ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Лемешко Е.Е.

МГИ, г. Севастополь, Россия
e.lemeshko@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Северное море, Норвежское море, Баренцево море, альтиметрия, стерический уровень, Арктическая осцилляция, режимы циркуляции океана.

Работа посвящена изучению влияния ветрового воздействия, характерного для Арктической осцилляции (АО), на режимы циркуляции океана в районе Северного- Норвежского-Баренцева морей (0–70° в. д.), с целью установления количественных закономерностей изменчивости уровня океана и поверхностных геострофических течений в зависимости от величины индекса АО.

В целом отклик уровня моря, осредненного по рассматриваемому сектору океана, находится в противофазе с индексом Арктической осцилляции, хотя есть периоды рассогласования противофазных колебаний уровня и индекса АО, также следует отметить увеличение амплитуды и длительности отрицательной фазы АО после 2009 г. Разница между областями положительных и отрицательных значений аномалий уровня создает градиент давления, который вызывает поверхностные геострофические течения, несущие атлантические воды вдоль кромки шельфа, в восточном направлении для циклонического режима (АО>0) и в западном направлении для антициклонического режима (АО<0). Рассчитанные коэффициенты линейной регрессии для уровня моря составляют ~2 см в шельфовой зоне и около минус 1 см в глубоководной части сектора, и таким образом перепад уровня между шельфом и более глубоководной частью рассматриваемой акватории составляет ~ 3см на 1 единицу индекса АО. Коэффициенты линейной регрессии аномалий скорости течений дают значения ~ 0,5 см/с на 1 единицу индекса АО.

Анализ долговременной изменчивости стерического уровня также показал взаимосвязь бароклинной циркуляции с межгодовой изменчивостью фаз колебаний индекса АО.

Халостерическая компонента вносит более значимый вклад в стерические колебания уровня, чем термостерическая в рассматриваемом секторе океана. По синхронным минимальным понижениям халостерической компоненты уровня и максимальным повышениям термостерической компоненты уровня можно сделать вывод об увеличении поступления теплых и соленых атлантических вод в сектор (0–70° в. д.) в эти периоды.

Работа была выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-35-90061 «Аспиранты».

О СВЯЗИ РЕЖИМОВ ЦИРКУЛЯЦИИ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА С АРКТИЧЕСКОЙ ОСЦИЛЛЯЦИЕЙ

Лемешко Е.М.

МГИ, г. Севастополь, Россия
evgeny.lemeshko@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, альтиметрия, стерический уровень, Арктическая осцилляция, режимы циркуляции океана.

На адвекцию теплых атлантических водных масс в Северный Ледовитый океан (СЛО) в значительной мере влияет изменчивость ветрового воздействия и развитие поверхностных течений. Поле ветра обусловлено пространственно-временной изменчивостью атмосферного давления над Атлантикой, его характерные особенности описываются климатическим индексом – Северо-Атлантическим Колебанием и над Арктикой – Арктической Осцилляцией (АО) и Арктическим Диполем (АД). АО модулирует приток теплых Атлантических вод и приток Тихоокеанских вод через Берингов пролив. Во время положительной фазы АО центральная часть Арктики занята циклоном, который способствует притоку теплых вод (положительные аномалии расходов течений в Баренцевом море) и затрудняет распространение вод через Берингов пролив (отрицательные аномалии расходов). Во время отрицательной фазы АО над Арктикой находится антициклоническая область давления, и аномалии расхода течений меняются на противоположные. Вдольбереговой ветер, преобладающий во

время отрицательной фазы АО, вызывает кросс-шельфовый экмановский перенос льда и пресноводного стока рек и рост градиента баротропного уровня между шельфом и глубоководной частью бассейна СЛО. На основе анализа данных реконструкции уровня СЛО и данных альтиметрии за период 1950–2012 гг. показано существование двух режимов циркуляции океана как отклика на крупномасштабную изменчивость атмосферы, связанную с индексом АО, и выделены типы циклонической и антициклонической циркуляции СЛО. Получены оценки коэффициентов линейной регрессии для уровня моря и поверхностных геострофических скоростей и построены карты их пространственного распределения в зависимости от индекса АО. Выделенные режимы чередуются с интервалами приблизительно от 5 до 7 лет с периодом квази-колебаний примерно от 10 до 15 лет. Однако в последние годы наблюдаются отклонения от этой схемы: длительность режима антициклонической циркуляции в Арктике увеличивалась в течение последних лет.

Работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках гранта № 18-05-60083.

ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫЕ ОТЛОЖЕНИЙЯ ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НА ПОБЕРЕЖЬЕ КАРСКОГО МОРЯ

Леонов И.И., Соколихина Н.Н.

МГУ, г. Москва, Россия
nanalia.sokolikhina@gmail.com

Ключевые слова: гололедно-изорозевые отложения, структура атмосферы.

Предмет исследования – исследование условий и механизмов формирования гололедно-изморозевых отложений высокой интенсивности на побережье Карского моря.

За небольшой период (октябрь 2016 года) проведен краткий обзор синоптической ситуации на территории Ямало-Ненецкого АО и соседних регионов. За этот месяц были зафиксированы 25 случаев отложения зернистой изморози на следующих станциях: Надым (2 случая), Новый Уренгой (6 случаев), Ныда (4 случая), Пангоды (2 случая), Салехард (4 случая), Тазовский (3 случая), Тарко-Сале (4 случая).

Важно отметить, что метеорологическая сеть на изучаемой территории очень редкая. Практически все станции находятся на берегах крупных рек, Таза и Оби, а также на берегах Обской и Тазовской губы. Также в данном регионе работает только одна аэрологическая станция в городе Салехард. Перечисленные факторы сильно затрудняют проведение анализа синоптической ситуации.

На основе данных наблюдений были статистически определены и обоснованы основные условия образования зернистой изморози. В первую очередь это наличие высокой относительной влажности, более 90 %, и отрицательной температуры воздуха, в пределах -16…0 °С.

Так же были проведены эксперименты с использованием атмосферной модели WRF-ARW и получены метеорологические параметры, используя которые, воспроизводились условия образования зернистой изморози. В результате обработки данных, были получены гистограммы хода интенсивности зернистой изморози по методу Макконена для ближайшего узла сетки каждой метеорологической станции, где в указанный период времени наблюдались отложения зернистой изморози. Успешным воспроизведением считалось точное совпадение фактических и смоделированных данных, а также отклонение модельных данных от факта не более чем на 2 часа.

Было показано, что выбранных предикторов в виде температуры и влажности воздуха не достаточно для восстановления факта образования изморози. Такие предикторы могут быть использованы для выявления областей, где наблюдаются метеорологические условия, во время которых стоит ожидать формирование изморозевых отложений.

Воспроизведение случаев изморози зависит от пороговых значений относительной влажности и интервала температуры. Максимальная доля подтвержденных фактом случаев для воспроизведения в ближайшем к метеостанции узле сетки составила 88 % при влажности более 90 % и 72 % при влажности более 99 %. Если расширить область до 50 км, то максимальное значение успешности при критерии влажности более 90 % составило 96 %.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШТОРМОВЫХ УСЛОВИЙ В НОВОРОССИЙСКОЙ БУХТЕ В ДЕКАБРЕ 2002 ГОДА

Леонов И.И., Соколихина Н.Н.

МГУ, г. Москва, Россия
leonov@geogr.msu.ru

Ключевые слова: шторм, обледенение, гололед, изморозь, сильный ветер, численное моделирование, WRF-ARW.

Шторм – это опасное морское гидрометеорологическое явление, сопровождающееся сильным ветром в открытом море со средней скоростью более 20 м/с и порывами ветра более 25 м/с. Нередко шторма сопровождаются обледенением морских судов.

Обледенение – процесс нарастания льда на корпусе судна и судовых конструкциях от водяных брызг, морских волн или при замерзании влаги, осаждающейся на корпусе из атмосферы воздуха.

Обледенение морских судов чаще всего наблюдается в умеренных и высоких широтах и является одним из наиболее опасных явлений на море. В результате обледенения увеличивается вес судна, снижается высота надводного борта и повышается центр тяжести, вследствие чего уменьшается остойчивость и ухудшается маневренность судна. При интенсивном обледенении судно может потерять остойчивость и опрокинуться. Гибель судов при обледенении, а тем более угроза гибели в некоторых районах Мирового океана, не столь редкое явление.

Целью данной работы являлось изучение воспроизведения случая обледенения гидрографического судна «Арктика» 9 декабря 2002 года численными моделями атмосферы и возможности прогнозирования интенсивности обледенения.

Численные эксперименты проводились с использованием численной модели WRF-ARW. В качестве начальных данных для запуска модели использовались данные реанализа ERA5 с пространственным разрешением 0,25°. Расчет проводился с использованием четырех вложенных сеток с шагами по пространству 18, 6, 2 и 0,4 км.

Фактические данные о метеорологических условиях, используемые для верификации, были получены из базы данных о срочных наблюдениях ВНИИГМИ-МЦД, а также из литературных источников.

Далее осуществлялся постпроцессинг выходных данных модели, в ходе которого были рассчитаны поля обледенения морских судов разных видов. Первый рассматриваемый вид обледенения относится к брызговому, происходящему вследствие намерзания капель морской воды на судно. Для его воспроизведения использовался критерий, описанный в методических указаниях по предупреждению угрозы обледенения судов, а также критерий Оверлэнда. Для второго вида, относящегося к пресноводному обледенению, характерно нарастание льда вследствие выпадения замерзающих осадков и намерзание переохлажденных капель воды. Для воспроизведения данного вида обледенения использовался прогноз замерзающих осадков и прогноз обледенения в тумане по алгоритму Макконена.

В результате численных экспериментов были воспроизведены штормовые условия, наблюдавшиеся в Новороссийской бухте в период с 7 до 9 декабря 2002 г., а также получены области наиболее вероятного обледенения морских судов с использованием различных методик. Результаты исследования показали, что для качественного прогноза обледенения судов и его интенсивности является целесообразным использование отдельных методов прогноза для каждого вида обледенения.

ФОРМИРОВАНИЕ ЯДРА ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ВЕСНОЙ 2006 Г.

Лобчук О.И., Буканова Т.В., Чубаренко И.П.

ИО РАН, г. Москва, Россия
olga_may87@mail.ru

Ключевые слова: холодный промежуточный слой, Борнхольмская промежуточная вода, термохалинная структура, температура, спутниковые снимки, Балтийское море.

С появлением сезонного термоклина, после весеннего прогрева, в Балтийском море ежегодно формируется холодный промежуточный слой (ХПС), который прослеживается в глубоководной части моря на протяжении всего года (в среднем 10 месяцев в году). Этот слой имеет сложную структуру, как по вертикали, так и по горизонтали: температура и солёность его вод, положение верхней и нижней границ, а также ядра (минимума температуры воды) непостоянны в пространстве и во времени и отличаются от года к году.

В данной работе на примере натурных данных 2006 года отслеживается процесс формирования ядра ХПС в Балтийском море. Показано, что основу ядра ХПС составляют холодные поверхностные воды, образующиеся ранней весной в юго-западной части моря, в окрестностях о. Борнхольм. Эти воды имеют характерный *T,S*-индекс.

Совместное использование спутниковых данных по SST, судовых CTD измерений и комплексной метеорологической информации позволило детально проследить условия формирования вод ядра ХПС в Балтийском море весной 2006 года и выявить их отличительные характеристики. Воды ядра ХПС, обнаруженные вдоль главной оси собственно Балтийского моря в апреле-мае 2006 г. имеют следующие характеристики T: 1,4–2,1 °C, S: 7,6–8,1. Поскольку воды с такими специфическими характеристиками формируется ежегодно в период начала весеннего прогрева (в 2006 г. в конце марта – начале апреля) на поверхности моря в акватории вокруг о-ва Борнхольм, предлагается рассмот-

реть возможность их выделения в термохалинной структуре собственно Балтийского моря как прослойки Борнхольмских промежуточных вод. Это позволяет более чётко выявлять особенности комплексной термохалинной структуры Балтийского моря в тёплое время года.

Анализ экспедиционных данных выполнен при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 19-05-00717). База данных о термохалинной структуре Балтийского моря поддерживается в рамках госзадания ИО РАН (тема № 0128-2021-0012).

РАСЧЕТ ОБРУШЕНИЯ ВОЛН В РАМКАХ НЕЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ МЕЛКОЙ ВОДЫ

Макаров К.Н.

СГУ, г. Сочи, Россия
ktk99@mail.ru

Ключевые слова: теория мелкой воды, возвышение свободной поверхности, скорость в гребне волны, обрушение волн.

Уравнения теории мелкой воды (длинных волн) в различных модификациях активно используются в настоящее время для моделирования волновых полей при проектировании гидротехнических сооружений, в том числе, в прибойной зоне моря.

Для учета мощной диссипации энергии при обрушении волн в уравнения длинных волн традиционно вводится дополнительный член виртуальной турбулентной вязкости. В результате удается организовать сплошной численный расчет без разрывов. Однако при этом (как и при иных аналогичных аппроксимациях потерь волновой энергии при обрушении волн) волновая энергия как бы распределяется по всей ширине прибойной зоны, что не позволяет получить узкую полосу обрушения, где в действительности диссипирует основная часть волновой энергии, оказывая воздействия на дно и сооружения.

Автором разработана методика расчета обрушения волн в рамках нелинейной теории мелкой воды, позволяющая учесть концентрацию энергии в узкой зоне.

В качестве критерия обрушения в модели принимается условие, когда скорость частиц волы в гребне волны становится больше, чем фазовая скорость волны. То есть, гребень «обгоняет» саму волну.

Для определения скорости частиц в гребне волны принимается ее линейное распределение по глубине перед разрушением, что соответствует результатам экспериментов, выполненных с использованием лазерного допплеровского анемометра.

Тогда скорость в гребне может быть определена через среднюю скорость, умноженную на эмпирический коэффициент, определяемый в результате калибровки модели.

Высота обрушающейся части гребня волны определяется из простых геометрических построений.

Зная высоту обрушающейся части гребня волны и ее скорость, можно определить величину осредненной по глубине энергии турбулентных пульсаций, которая генерируется при обрушении волны.

Производная этой энергии по расстоянию вводится в уравнения движения в качестве самостоятельного члена. В результате удается локализовать область обрушения волны и одновременно организовать сквозной счет без разрывов.

Правильность изложенных теоретических построений проверялась путем проведения специальных гидравлических экспериментов в волновом лотке Центра «Морские берега» (г. Сочи). Получено удовлетворительное соответствие расчетов данным экспериментов. По результатам калибровки модели определено среднее значение эмпирического коэффициента для скорости в гребне волны.

Разработанная математическая модель реализована в компьютерной программе, которая используется для практических расчетов, в частности портовых сооружений.

Так, при проектировании причалов 1а и 1б в порту Туапсе были выполнены расчеты обрушения волн на бровке дноуглубления по предпроектной трассе подходной эстакады.

Расчеты показали, что предпроектная трасса расположена в зоне первого обрушения волн в расчетном шторме. Это вынуждает проектировщиков поднять отметку низа эстакады до +5,50 м БС. Причем и в этом случае волновое воздействие на эстакаду не исключается.

Поэтому по результатам расчетов было рекомендовано изменить трассу эстакады таким образом, чтобы она проходила в зоне уже разрушенных волн. Данная рекомендация была принята и реализована при строительстве причалов.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙШ КАЗАЧЬЕЙ БУХТЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ ЛИТОСФЕРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЛАЗЕРНЫМ ИНТЕРФЕРОМЕТРОМ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Манилюк Ю.В.[1], Лазоренко Д.И.[1], Фомин В.В.[1], Чехов В.Н.[2], Насонкин В.А.[3], Боборыкина О.В.[4]

[1]МГИ, г. Севастополь, Россия,
[2] КФУ, г. Симферополь, Россия,
[3]АО «Завод" Фиолент"», г. Симферополь, Россия
[4]ИФЗ РАН, г. Москва, Россия
uvmsev@yandex.ru

Ключевые слова: сейши, резонансные колебания, Казачья бухта, лазерный интерферометр, литосферные деформации, численное моделирование, модель ADCIRC.

Сейши – наиболее распространенное явление в бухтах, вызываемое множеством причин вызывающих множество, но основной являются волновые возмущения, приходящие из открытого моря. При совпадении периодов этих возмущений с собственными периодами бухты в ней могут генерироваться сейши значительной амплитуды, представляющие опасность для судов, и береговой инфраструктуры.

Данных наблюдений за сейшами в севастопольских бухтах практически нет. Поэтому, использование альтернативных методов исследований на данный момент является единственным доступным инструментом для изучения данного явления. К таким методам можно отнести наблюдения за литосферными деформациями и математическое моделирование.

В настоящей работе на основе указанных методов проведено исследование сейшевых колебаний в б. Казачья, входящей в систему севастопольских бухт. Измерения литосферных деформаций выполнены с помощью равноплечных двухлучевых лазерные интерферометров-деформографов майкельсоновского типа с разнесенными пучками, имеющими чрезвычайно высокие метрологические характеристики, использующими в качестве эталона длину волны стабилизированного по частоте лазера (ЛГН-303). Измеряемой величиной является разность между относительными литосферными деформациями. Эти приборы расположены в штольне 35-й береговой батареи в районе м. Херсонес.

Математическое моделирование сейшевых колебаний в б. Казачья проводилось двумя методами. Первый метод основан на решении задачи на собственные значения и позволяет получить собственные периоды и собственные функции, определяющие пространственную картину колебаний уровня и течений, задаваемые профилем береговой черты и батиметрией водоема. Для реализации этого подхода использована авторская гидродинамическая конечно-элементная модель. Второй подход основан на решении вынужденной задачи, когда жидкость выводится из состояния равновесия действием какой-либо возмущающей силы. Сейши рассматриваются как колебания, происходящие в водоеме после прекращения действия возмущения. В качестве возмущений задавались колебания жидкой границы расчетной области с периодами в интервале 1–52 мин, заключающем в себе как все собственные периоды системы севастопольских бухт, так и длинноволновые возмущения, приходящие из открытого моря. Для расчетов использовалась численная конечно-элементная модель ADCIRC.

Сравнение периодов сейш, определенных по результатам измерений литосферных деформаций и рассчитанных по разным моделям показало удовлетворительное соответствие. Это указывает на перспективность использования геофизической лаборатории, расположенной в штольне 35-й береговой батареи.

Представляется целесообразным и перспективным возобновление работы лаборатории и использование результатов измерений для исследования длинноволновых колебаний в системе севастопольских бухт.

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ГЛУБОКОВОДНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Маркова Н.В., Дымова О.А.

МГИ, г. Севастополь, Россия
n.v.markova@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, моделирование, прогностический расчет, циркуляция, глубоководные течения.

Проведен анализ результатов моделирования трехмерных по пространству гидрофизических полей Черного моря, полученных в серии прогностических численных экспериментов для периодов 2006, 2010, 2011 и 2013 гг. Численные эксперименты выполнены на основе нелинейной z-координатной модели динамики Черного моря, разработанной в МГИ, с горизонтальным разрешением 1,6 км для всего бассейна. Ассимиляция данных натурных наблюдений в модели не проводилась (прогностические расчеты). Атмосферное воздействие задавалось с помощью выходных данных моделей ALADIN, ERA-Interim, SKIRON.

Рассчитанные среднесуточные поля скорости проанализированы на предмет наличия особенностей глубоководных течений, не характерных для общепринятой схемы циклонической циркуляции черноморских вод в бассейне. В рассчитанных полях установлено наличие нерегулярных глубоководных течений антициклонической направленности. В районе северокавказского побережья их характеристики подтверждаются данными многолетних глубоководных натурных наблюдений на полигоне ИО РАН «Геленджик».

Показано, что аналогичные течения под постоянным пикноклином могут формироваться и в западной части моря: в частности, в районе болгарского побережья, а также вдоль северо-западной части материкового склона. Течения антициклонической направленности в рассмотренных расчетах зафиксированы на горизонтах более 1000 м, имеют время жизни от нескольких суток до нескольких недель, средние скорости 5–7 см/с и максимальные – до 15 см/с.

Ранее в расчете климатических полей Черного моря на основе модели МГИ с ассимиляцией климатических полей температуры и солености авторами было отмечено, что в весенне-летний период, в наиболее развитой фазе глубоководное течение антициклонической направленности распространяется под основным пикнокликом вдоль всей северной части материкового склона со скоростями 2,5–4 см/с, а формирование такого течения начинается значительно западнее Крымского п-ова.

Наличие квазипериодических течений антициклонической направленности с характеристиками, подобными рассчитанным

с помощью численной модели МГИ, согласуется также с результатами длительных – более года – глубоководных наблюдений скорости течений на горизонте 1700 м к юго-западу от м. Херсонес, опубликованных в работе (Клювиткин и др., 2019) с расчетом климатических течений на основе модели ИВМ (Лукьянова и др., 2016) и расчетом течений в 2011 г., проведенным на основе модели INMOM (Коршенко и др., 2019).

Происхождение течений антициклонической направленности в западной части моря и других его регионах может быть обусловлено различными, в том числе волновыми, процессами в глубинных слоях Черного моря. Вопрос о механизмах возникновения подобных течений на данном этапе работы остается открытым и его обсуждение приветствуется.

Работа проведена в рамках темы госзадания 0555-2021-0003 (шифр «Оперативная океанология»).

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ХОЛОДНОЙ ФАЗЫ ЭЛЬ-НИНЬО – ЮЖНОЕ КОЛЕБАНИЕ В 2020-2021 ГГ

Марчукова О.В.[1], Воскресенская Е.Н.[1], Зотов Л.В.[2]

[1]ИПТС, г. Севастополь, Россия
[2]ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия
olesjath@mail.ru

Ключевые слова: температура поверхности океана, Ла-Нинья, ЭНЮК, пассатные ветра, поверхностные течения.

Одним из основных глобальных процессов межгодового масштаба в системе океан-атмосфера, оказывающего существенное влияние на состояние климата, является феномен Эль-Ниньо – Южное Колебание (ЭНЮК), включающий в себя две фазы: теплую (события Эль-Ниньо) и холодную (события Ла-Нинья). В настоящей работе речь пойдет о событиях Ла-Нинья. В целом события Ла-Нинья характеризуются экстремальным понижением поверхностной температуры воды (ТПО) в экваториальной зоне Тихого океана, как минимум, на протяжении пяти последовательных месяцев, с типичным масштабом повторяемости от двух до семи лет.

29 октября 2020 г. Всемирная Метеорологическая организация (ВМО) сообщила на своем официальном сайте, что развилось явление Ла-Нинья и по прогностическим оценкам продлится до весны 2021. Эксперты ВМО тогда считали, что это будет одно из самых интенсивных Ла-Нинья за последние 30 лет наблюдений. Однако в ходе анализа события Ла-Нинья 2020–2021 гг. было выявлено, что его интенсивность составила всего -1,19°С, а максимальная фаза развития выпала на октябрь-декабрь. За последние 30 лет измерений самое интенсивное и продолжительное явление Ла-Нинья было зафиксировано в 1998–2000 гг., которое длилось почти три года, а его интенсивность составила -1,79°С. Последнее событие сформировалось в сентябре 2020 и просуществовало до апреля 2021 (8 месяцев), как и предсказывали эксперты ВМО.

Стоит отметить, что 2020 г. был признан научным климатическим сообществом одним из самых жарких на планете за последние десятилетия. Одновременно с этим летом 2020 г. наблюдалось аномальное ускорение во вращении Земли. Продолжительность суток достигла минимума. Возможно, это стало одной из предпосылок образования Ла-Нинья осенью 2020 г.

В настоящей работе для выявления особенностей недавнего Ла-Нинья были проанализированы следующие массивы среднемесячных данных за период с января 2020 г. по апрель 2021 г.:

– реконструированные значения температуры поверхности океана (ТПО) из массивов HadISST и COBE SST2 с шагом сетки в 1°;

– значения скоростей и направлений течений на глубине 5 м из реанализа NCEP GODAS с разрешением сетки 1°×1°;

– значения температуры воды по глубине от 5 м до 4000 м из того же реанализа NCEP GODAS; .

Дополнительно в настоящем исследовании были привлечены среднемесячные значения индексов Пассатных ветров (TWI), рассчитанные на 850 мб изобарической поверхности для трех районов Тихого океана – восточного (EP), центрального (CP) и западно-экваториального (WP) – из CPC NOAA.

Было выявлено, что пассат в восточно-экваториальном секторе Тихого океана начал усиливаться еще в мае 2020 г. (аномалия TWI EP = 3,1 м/мес.), однако пик его развития также совпал с максимальной интенсивность Ла-Нинья, которая выпала на октябрь 2020 (аномалия TWI EP = 3,8 м/мес). Преобладание и усиление пассатных ветров в восточно-экваториальном секторе Ти-

хого океана предопределили характер пространственного формирования аномалий ТПО исследуемого Ла-Нинья, который в рамках пространственной классификации был отнесен к ВТ типу.

ОЦЕНКА ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЯМИ ПОКОЛЕНИЯ CMIP6 ДЛЯ СЕВАСТОПОЛЬСКОГО РЕГИОНА

Марчукова О.В., Вышкваркова Е.В.

ИПТС, г. Севастополь, Россия
olesjath@mail.ru

Ключевые слова: температура воздуха, осадки, CMIP6, линейный тренд, корреляционный анализ, климатические модели.

Настоящая работа выполнялась с целью решения будущей задачи – получения прогностических оценок возможных изменений природно-климатических показателей на территории Севастопольского региона к середине и концу XXI века, и, как следствие, условий, необходимых для отрасли виноградарства. Задача была поставлена в рамках гранта РФФИ «Воздействие изменения климата на виноградарство в Севастопольском регионе» (см. ссылку ниже). Но прежде чем анализировать возможное изменение климатических условий в исследуемом регионе при разных сценариях увеличения углекислого газа, необходимо было оценить воспроизведение метеопараметров моделями проекта CMIP последнего поколения.

Проведен сравнительный анализ шести моделей проекта CMIP6 – ACCESS-CM2, CMCC-CM2-SR5, HadGEM3-GC31-LL, INM-CM4-8, KACE-1-0-G и NESM3 – с данными наблюдений в точке г. Севастополь (44°36′ с.ш. 33°32′ в.д.) по двум основным гидрометеорологическим характеристикам: среднесуточной температуре воздуха и количеству выпавших осадков за день. Период сопоставления – с 1981 по 2014 гг. В качестве основных методов сравнения были выбраны: корреляционный анализ, расчет показателей RMSE, анализ величин линейных трендов и расчет спектральной плотности.

Все шесть моделей проекта CMIP6 хорошо воспроизводят суточную изменчивость температуры воздуха в районе Севастополя (r=[0,8…0,3]), однако модельные значения данных отклоняются от реальных в среднем на ±6°C. Из этого следует, что среднесуточные данные температуры воздуха моделей ACCESS-CM2, CMCC-CM2-SR5, HadGEM3-GC31-LL, INM-CM4-8, KACE-1-0-G и NESM3 можно использовать для среднемесячных, сезонных и среднегодовых прогностических оценок и расчетов, но нежелательно использовать для суточного и декадного прогнозов.

Стоит отметить, что ансамбль среднесуточной температуры воздуха из шести моделей CMIP6 лучше коррелирует с реальными данными в точке г. Севастополь (r=0,88), а значение RMSE равно 4,89 °C и является меньше среднего значения RMSE на 1,11 °C. Полученные результаты по историческим модельным данным показывают, что для дальнейшего анализа прогностических оценок лучше использовать ансамбли из модельных рядов будущих экспериментов (2021–2080), нежели рассматривать отдельно ряды по каждой модели CMIP6. Также, доказательством того, что лучше оценивать ансамбль из шести моделей, стал расчет величин линейных трендов исторических модельных рядов с 1981 по 2014 гг. Было получено, что величины трендов данных наблюдений и ансамбля из 6 моделей CMIP6 идентичны (у обоих рядов Tr=0,56°C/10 лет).

Для сравнительного анализа осадков были рассмотрены пять моделей проекта CMIP6 (в модели NESM3 отсутствуют суточные ряды по данному параметру). Сравнение показало, что все пять моделей не воспроизводят суточную изменчивость количества выпавших осадков за день в районе Севастополя – корреляционные связи с реальными данными отсутствуют (r=[-0,01…0,01]). Самое низкое значение RMSE у российской модели INM-CM4-8.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ и г. Севастополя № 20-45-920008.

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ МОРЕЙ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Меркулов В.А., Тимохов Л.А.

ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
vamerkulov@aari.ru

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, Арктика, уровень моря, уровенный пост, многолетняя изменчивость, колебания уровня.

Денивеляция уровня океана является важным показателем динамического состояния океана. При этом уровень арктических морей чутко реагирует на изменения атмосферной циркуляции и ледово-гидрологического режима Северного Ледовитого океана (СЛО). Эти изменения могут влиять на строительство и эксплуатацию гидротехнических сооружений, добычу полезных ископаемых, включая нефть и газ, а также на судоходство и рыболовство в арктических морях. В этом отношении изменения уровня Северного Ледовитого океана и его морей являются ключевым фактором, влияющим на хозяйственную деятельность человека, а также одним из важнейших геолого-морфологических феноменов, определивших основные черты развития прибрежных территорий и шельфов.

В условиях ожидаемого антропогенного ускорения изменений уровня Мирового океана, данные об этих изменениях в новейшей истории приобретают особую научную практическую значимость. Они являются важнейшим, если не единственным, источником информации о развитии морских берегов при тех или иных изменениях уровня моря. Некоторая доля довольно важных хозяйственных объектов России концентрируется на побережье арктических морей, поэтому любые их изменения неизбежно скажутся на состоянии экономики.

В последнее время очень возрос интерес со стороны практики к долгосрочным (вплоть до климатических) гидрометеорологическим прогнозам вообще и океанографическим в частности, что

требует построения новых прогностических моделей. Для развития поисковых работ на Сибирском шельфе, а затем и промышленной разработки месторождений полезных ископаемых необходимы данные об уровне не только прибрежных, но и открытых глубоководных районов Северного Ледовитого океана. На фоне резких изменений климатического и гидрологического режима Арктики в последние десятилетия, представляется важным выполнить новые исследования в области изучения долгопериодных изменений уровня Северного Ледовитого океана.

В докладе будут представлены результаты исследования структуры долгопериодных колебаний уровня морей Северного Ледовитого океана. Исследование проводилось на основе данных об изменчивости уровня моря в акватории полярных станций, расположенных в евразийском бассейне Северного Ледовитого океана. Выявлены основные закономерности колебания уровня арктических морей в межгодовом масштабе, а также при помощи статистического анализа выполнен поиск основных факторов, влияющих на эти колебания. Здесь важную роль сыграли как гидрометеорологические процессы, происходящие на Земле, так и космофизические факторы, вносящие в изменения уровня морей цикличность разной периодичности. Кроме того, в некоторых частях арктического бассейна заметную роль в изменение уровня моря играет гляциоизостатическое движение земной коры.

Опираясь на оценки влияния собранных факторов на изменчивость уровня моря в СЛО удалость рассчитать статистические модели многолетней изменчивости уровня в морях Арктического бассейна.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ВОД МИРОВОГО ОКЕАНА: ОБЩАЯ СТРУКТУРА И ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ

Мизюк А.И., Коротаев Г.К., Белокопытов В.Н., Холод А.Л.

МГИ, г. Севастополь, Россия
artem.mizyuk@mhi-ras.ru

Ключевые слова: морские прогнозы, NEMO, Мировой океан, ассимиляция данных.

В докладе представлены результаты, полученные при разработке и тестовой эксплуатации прототипа системы диагноза и прогноза состояния Мирового океана. Данный комплекс является развитием системы прогнозов вод Азово-Черноморского бассейна, принимаемый объем данных в которой был несколько расширен. В качестве расчетного ядра системы используется комплекс NEMO, гидродинамический блок которого основан на системе примитивных уравнений гидротермодинамики океана. Текущая конфигурация модели главным образом опирается на открытые результаты по конфигурации ORCA 0,25 градуса.

Ранее разработанная для прогнозов в Азово-Черноморском бассейне система автоматизации численных экспериментов была дополнена блоками закачки и подготовки данных на сетку модели. Система полностью собрана на вычислительном кластере ФГБУН ФИЦ МГИ, включающем 24 вычислительных (672 вычислительных ядра) и 1 управляющий узел.

В текущей версии системы используется усвоение продукта системы Коперник динамического массива гидрофизических параметров океана, предоставляемого на регулярной сетке (уровень L4). Сложность для выполнения морских прогнозов с использованием этих данных обусловлена значительным запаздыванием до двух недель. Поэтому в ходе разработки системы был представлен ряд решений, точность результатов которых исследуется в период тестовой эксплуатации системы с мая по июль 2021 г. Кроме того, анализируется возможность создания аналогичного продукта в ФГБУН ФИЦ МГИ.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И НАКАТА УЕДИНЕННОЙ ВОЛНЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЗАПОВЕДНИКА «ХЕРСОНЕС ТАВРИЧЕСКИЙ»

Михайличенко С.Ю.[1], Куранов Д.Ю.[2]

[1]МГИ, г. Севастополь, Россия
[2]СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
liham1984@rambler.ru

Ключевые слова: модель SWASH, солитон, заповедник «Херсонес Таврический», профиль волны, амплитуда волны, накат волн на берег, поля разностей высот волн, квадратичное донное трение, коэффициент шероховатости дна.

Основным гидродинамическим фактором, влияющим на береговую литодинамику, является ветровое волнение. Сильное штормовое волнение может приводить к обрушению берегов и разрушению прибрежной инфраструктуры. Поэтому исследование процессов трансформации волн при их распространении на мелководье с последующим накатом на береговой склон является одной из наиболее актуальных задач в прибрежной гидродинамике.

Обрушение берегов заповедника Херсонес Таврический приводит к сокращению площади древнего городища, что определяет необходимость в ее защите от разрушительного влияния штормового волнения. Для представления ветровых волн в работе была выбрана математическая модель солитона, так как известно, что на определенной стадии деформации волн мелководьем их профили становятся схожими с профилями уединенных волн.

В работе с помощью модели SWASH в рамках двумерной задачи исследовалось распространение, трансформация и накат уединенной волны на берег Херсонеса при учете различных вариантов моделей донного трения. Численные эксперименты проводились в модельном бассейне, который имеет прямоугольную форму шириной 500 м и длиной 1500 м. В качестве граничных условий на входе задавались временной профиль солитона и начальное значение осредненной по глубине скорости жидкости. Амплитуда входящей волны во всех экспериментах была постоянной, равной 3,0 м. С целью минимизации диссипативных эффектов на боковых границах расчетная область исследуемого района продлевалась вспомогательными областями с постоянными глубинами, соответствующими их величинам в граничных точках реального рельефа. На жидких границах вспомогательных областей использовалось условие свободного прохождения волн. В расчетах использовалась прямоугольная сетка с шагом по про-

странственным координатам в 0,5 м. Шаг интегрирования по времени составил 0,04 с. Моделирование осуществлялось в промежутке времени 180 секунд.

Численные эксперименты были проведены для пяти различных моделей донного трения. Исследовалось влияние каждого из рассмотренных вариантов на высоту проходящей волны и величину вертикального наката на берег. Расчеты показали, что по мере распространения солитон подвергается постепенной трансформации, крутизна переднего фронта и высота волны постепенно увеличиваются, что приводит к ее обрушению в приурезовой зоне с последующим накатом на берег. Анализ результатов расчетов показал, что различные типы донного трения оказывают разное влияние на высоту проходящей волны и величину ее вертикального наката. Наибольшее влияние на трансформацию уединенной волны оказывает величина коэффициентов шероховатости дна. При возрастании величин коэффициентов шероховатости до реальных значений, соответствующих структуре дна прибрежной области заповедника, высота подходящей к береговой линии волны уменьшается с 4,5–5,0 м до 1,6–2,0 м. Величина вертикального наката волны при этом также уменьшается с 5,0–6,0 м до 2,0–3,0 м.

ФОРМИРОВАНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ТЕРМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ВОД В ЮЖНО-КУРИЛЬСКОМ РАЙОНЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ИЗМЕНЧИВОСТИ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

Мороз В.В.[1], Шатилина Т.А.[2]

[1]ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
[2]ТИНРО, г. Владивосток, Россия
moroz@poi.dvo.ru

Ключевые слова: Южно-Курильский район, экстремальные термические режимы вод, атмосферная циркуляция.

Район Южных Курильских островов является одним из важных промысловых районов Дальнего Востока. Экстремальные

флуктуации температуры воды в отдельные годы здесь могут приводить к негативным изменениям характеристик среды обитания гидробионтов, падению вылова и смещению районов промысла. В связи с чем, целью проведенных исследований явилось определение условий и механизмов формирования аномальных термических режимов на акватории района.

На основе массивов гидрологических и метеорологических данных за период 1985-2016 гг. исследованы особенности межгодовой изменчивости термического режима поверхностных вод района в летний период в зависимости от атмосферных процессов с учетом динамики вод. Особое внимание уделено особенностям структуры барических полей в аномальные по термическим условиям годы.

Было установлено, что формирование термических режимов района в летний период определяется особенностями циркуляции вод южной части Охотского моря и связано с изменчивостью региональных центров действия атмосферы – летней дальневосточной депрессии и охотского антициклона, а также северо-тихоокеанским максимумом (гавайским антициклоном).

Показано, что механизм формирования экстремально холодных термических режимов в Южно-Курильском районе, как правило, связан с активным развитием охотского антициклона и наличием холодной тропосферной ложбины над восточной частью Охотского моря. Такая структура атмосферных полей способствует выносу с севера по периферии антициклона холодных полярных масс воздуха на Охотское море, усиливает сток холодных северо-охотоморских вод с Восточно-Сахалинским течением в южную часть моря и аномально ослабляет приток тепла с течением Соя через пролив Лаперуза. Развитый охотский антициклон, являясь блокирующим для формирующих летнюю дальневосточную депрессию циклонов, направляет их на восток, изменяя траектории на более южные. При положении летней дальневосточной депрессии южнее среднемноголетнего, смещающиеся по ее ложбине циклоны в своей тыловой части выносят через южно-охотоморский район к Курильским островам холодные воздушные массы. Температура воды в исследуемом районе в эти годы опускается значительно ниже нормы.

Механизм формирования экстремально теплых термических режимов связан с отсутствием высотных холодных депрессий и усилением влияния гребня гавайского антициклона, по западной периферии которого поступает субтропический теплый воздух на акваторию исследуемого района. Летняя дальневосточная депрессия в эти годы смещена севернее среднемноголетнего положения и выходящие вдоль ложбины континентальные циклоны в передней части также выносят теплый воздух на юг Охотского моря. Юго-западный перенос способствует проникновению вод течения Соя в южно-охотоморский район вплоть до Курильских островов, способствуя формированию в Южно-Курильском районе аномально теплого термического режима.

В результате исследований установлены механизмы влияния изменчивости атмосферных термобарических полей и динамики вод на формирование экстремальных термических режимов акватории Южно-Курильского района. Полученные результаты могут быть использованы для разработки прогностических моделей формирования аномальных гидрологических условий, как данного экономически значимого района, так и других акваторий региона.

ВНУТРИГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В АТЛАНТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ АНТАРКТИКИ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА NOAA OI SST

Никольский Н.В., Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А.

МГИ, г. Севастополь, Россия
n.nikolsky@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Атлантический сектор Антарктики, температура поверхности океана, среднеквадратическое отклонение, сезонная и синоптическая изменчивость.

На основе данных реанализа NOAA OI SST, содержащего среднесуточные значения температуры поверхности океана (ТПО) в узлах регулярной сетки с шагом 0,25° за период с 1982 по 2017 гг., выявлены особенности среднемноголетней внутриго-

довой изменчивости поля температуры на поверхности Атлантического сектора Южного океана на сезонном и синоптическом масштабах. Рассматривалась акватория между 30° ю.ш. и берегом Антарктиды. Анализировались области, где площадь свободной ото льда воды была больше 10 %. Для анализа уровней внутригодовой изменчивости ТПО в каждом узле сетки рассчитывались ее синоптические (внутримесячные) и сезонные среднеквадратические отклонения ($СКО_{син}$ и $СКО_{сез}$).

Установлено, что максимальные величины $СКО_{сез}$ ТПО (до 4 °С) наблюдаются на обширном шельфе у берегов Южной Америки. Высокие значения $СКО_{сез}$ ТПО (до 2,4–3 °С) отмечаются в зоне схождения Бразильского и Фолклендского течений. Повышение уровня сезонной изменчивости ТПО выявлено на южной периферии Южного субтропического антициклонического круговорота ($СКО_{сез}$ ~ 2–2,4 °С) и в зоне Антарктического Циркумполярного течения (АЦТ) в проливе Дрейка и в море Скоша ($СКО_{сез}$ ~ 1,2–1,4 °С). У южных берегов Африки на мелководье в районе м. Игольный наблюдается локальный максимум $СКО_{сез}$ ТПО (1,8–2,4 °С). Несколько южнее, примерно между 36° и 38° ю. ш., в зоне основной ветви течения Агульяс отмечается уменьшение значений $СКО_{сез}$ ТПО (до 1,6 °С). Между 40° и 43° ю. ш., в зоне, где рециркуляционная ветвь течения Агульяс сливается с северной ветвью АЦТ, значения $СКО_{сез}$ ТПО снова повышаются (до 1,8–2,2 °С). Южнее примерно 45° ю. ш. отмечается понижение уровня сезонной изменчивости ТПО, значения $СКО_{сез}$ не превышают 1 °С. У берегов Антарктиды величины $СКО_{сез}$ ТПО уменьшаются до 0,4–0,8 °С. Минимум уровня сезонной изменчивости ТПО наблюдается в море Уэдделла ($СКО_{сез}$ ниже 0,2 °С).

Пространственное распределение среднемноголетних значений $СКО_{син}$ ТПО показало, что их максимальные значения (1–1,2 °С) наблюдаются в зоне схождения Бразильского и Фолклендского течений, в зоне северной ветви АЦТ над северной границей Фолклендского плато и к югу от Африки между 37° и 45° ю. ш., где рециркуляционная ветвь течения Агульяс сливается с северной ветвью АЦТ. В отличие от сезонной изменчивости, уровень синоптической изменчивости в зоне основной ветви течения Агульяс повышается ($СКО_{син}$ ~ 0,75–0,85 °С), что связано с интенсивным вихреобразованием в зоне течения Агульяс и его рециркуляционной ветви на внутримесячном масштабе. Повышение значений $СКО_{син}$ до 0,7–0,9 °С выявлено в проливе Дрейка и море Скоша на северной периферии АЦТ. У берегов Антарктиды ве-

личины $СКО_{син}$ уменьшаются до 0,1–0,15 °С. Минимальный уровень синоптической изменчивости ТПО (ниже 0,05 °С), также как и сезонной, выявлен в море Уэдделла.

Показано, что уровень среднемноголетней синоптической изменчивости ТПО в целом заметно ниже, чем уровень ее сезонной изменчивости. Максимальные значения отношения $СКО_{сез}/СКО_{син}$ (4–6) наблюдаются на шельфе у берегов Южной Америки и в восточной части акватории между 65° ю. ш. и берегом Антарктиды. Восточнее 10° в. д. в зоне АЦТ и течения Агульяс величины $СКО_{сез}/СКО_{син}$ не превышают 1–1,5.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ № 0555-2021-0004 «Океанологические процессы».

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАВИХРЕННОСТИ В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ

Новоселова Е.В., Белоненко Т.В.

СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
e.novoselova@spbu.ru

Ключевые слова: Лофотенская котловина, Норвежское море, Северная Атлантика, Лофотенский вихрь, потенциальная завихренность, Эртель, GLORYS12V1.

Лофотенская котловина представляет собой понижение в рельефе дна Норвежского моря с максимальной глубиной 3250 м. Она ограничена хребтом Мона с северо-запада, плато Воринг с юга и континентальным шельфом Норвегии с востока. Главной особенностью котловины является антициклонический квазипостоянный Лофотенский вихрь в её центре, который представлен линзой теплой соленой воды на интервале глубин 300–1000 м с горизонтальным масштабом около 60–80 км.

Нами была вычислена потенциальная завихренность для Лофотенской котловины по данным океанического реанализа GLORYS12V1. Он основан на современной глобальной системе прогнозирования в режиме реального времени CMEMS. Использовались среднесуточные и среднемесячные данные за период 1993–2018 гг. с пространственным разрешением 0,083°. Реанализ

включает в себя такие параметры, как температура воды, солёность, компоненты скоростей течений, глубина ВКС, высота поверхности моря (SSH) и др.

В центрах антициклонических вихрей, где отрицательная относительная завихренность велика, абсолютная завихренность и, соответственно, PV близки к нулю. Кроме того, в центре вихрей стратификация практически отсутствует, что также способствует малым значениям PV. Поверхностный или подповерхностный (в зависимости от сезона) максимум PV связан с мощной плотностной стратификацией и большими значениями частоты плавучести. Верхняя граница «подвихревого» максимума PV хорошо согласуется с глубиной резкого уменьшения относительной завихренности. Также данному максимуму сопутствует сгущение изопикн.

Публикация выполнена при финансовой поддержке гранта СПбГУ № 75295423.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕЧЕНИЙ В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ, ВЫЗВАННАЯ ТАЙФУНОМ «ЛАЙОНРОК»

Новотрясов В.В., Лобанов В.Б., Сергеев А.Ф., Павлова Е.П.

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
vadimnov@poi.dvo.ru

Ключевые слова: тайфун «Лайонрок», зал. Петра Великого, течение штормового нагона, инерционные колебания скорости.

Тайфун «Лайонрок» (29.08–2.09 2016 г.) вызвал один из самых больших штормовых нагонов за всю историю наблюдений над уровнем моря в зал. Петра Великого. В работе проанализирована скорость течений в деятельном слое залива до, во время и после его прохождения. Анализ проводился по данным измерений, полученных с гидрометеорологической измерительной системы Seawatch, заякоренной в юго-западном районе залива. Установлено, что под воздействием тайфуна экстраординарно усилилась скорость шельфового ответвления Приморского течения в заливе. На фазе максимума значение скорости этого течения достигло ~ 0,9 *м/с*. При этом был зафиксирован взрывной рост интенсивности инерционных колебаний скорости (ИКС) течений.

Установлено, что большая ось годографа ИКС течений превышает его малую ось на порядок. Обнаружено «красное» и «голубое» смещение инерционной частоты в придонном и в поверхностном слое соответственно, у ИКС течений с антициклональным вращением. Высказано предположение о том, что аномальные характеристики ИКС течений с двумя типами вращения обусловлены их взаимодействием с синоптической составляющей Приморского течения в районе наблюдений, индуцированной тайфуном.

РЕЧНЫЕ ПЛЮМЫ В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Осадчиев А.А.

ИО РАН, г. Москва, Россия
osadchiev@ocean.ru

Ключевые слова: речной плюм, поверхностный слой моря, стратификация, циркуляция вод, Арктика.

В Северный Ледовитый океан, занимающий всего 3 % площади поверхности и 1 % объема Мирового океана, поступает значительный материковый сток, составляющий более 11 % суммарного мирового стока в океан. В результате этого в Северном Ледовитом океане формируется опресненный поверхностный слой и значительные вертикальные градиенты солености. В силу того, что морской лед в глубоководной части океана формируется только в случае существования постоянного галоклина, ограничивающего тепловую конвекцию, соленостная стратификация в Арктике играет ключевую роль в изменчивости ледяного покрова и регионального альбедо, влияющего на климатические процессы в глобальном масштабе. Пресноводный сток также оказывает существенное влияние на многие региональные процессы в Арктике, особенно в прибрежных и шельфовых районах, такие как циркуляция вод, перенос взвешенных и растворенных веществ, образование первичной продукции, антропогенное загрязнение, асидификация, отложение терригенного материала в шельфовых районах Арктики.

Реки российского сектора Арктики обеспечивают две трети материкового стока в Северный Ледовитый океан. Подавляющая часть годового стока арктических рек России поступает в Северный Ледовитый океан в течение нескольких месяцев летнего половодья, и в этот период формируются области поверхностного опреснения на обширных участках шельфа суммарной площадью в сотни тысяч квадратных километров. Речные плюмы, формирующиеся в Карского море, море Лаптевых и Восточно-Сибирском море, являются крупнейшими опресненными водными массами Арктики (наряду с круговоротом Бофорта) и входят в число крупнейших по площади речных плюмов мира.

Эта работа посвящена описанию структуры, динамики и изменчивости больших речных плюмов, формируемых стоками крупнейших арктических рек России (Енисей, Лена, Обь, Колыма, Хатанга, Индигирка), а также их влиянию на гидрофизические процессы на шельфе Восточной Арктики. В работе обобщены многолетние исследования опресненного поверхностного слоя в морях российской Арктики, которые существенно развивают существующие представления о влиянии речного стока на гидрологическую структуру Карского моря, моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря. В работе рассматриваются процессы распространения и трансформации материкового стока в морях российской Арктики от региональных процессов формирования речных плюмов в эстуариях и придельтовых районах моря до процессов сезонной трансформации и крупномасштабного переноса опресненного поверхностного слоя на шельфе российского сектора Арктики.

ПРЕОБЛАДАЮЩИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА ПРИ НАГОНАХ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

Павлова А.В.[1], Архипкин В.С.[2], Мысленков С.А.[1,2]

[1]Гидрометцентр России, г. Москва, Россия
[2]МГУ, г. Москва, Россия
anna.pavlova-16@yandex.ru

Ключевые слова: сгонно-нагонные колебания, ADCIRC, численное моделирование, Каспийское море, уровень моря.

Изучение особенностей влияния сгонно-нагонных колебаний на побережье Северного Каспия является актуальной задачей. Под воздействием сильных и продолжительных ветров соответствующих направлений могут формироваться сгонно-нагонные колебания до 2–3 метров и приводить к затоплению или осушению значительной прибрежной территории.

В данной работе исследования проводились с помощью гидродинамической модели ADCIRC за период с 1979 по 2017 гг. В численных экспериментах использовалась нерегулярная триангуляционная расчетная сетка, длины сторон ячеек которой изменяются от 500 м у берега до 10 км в центре моря. В качестве входных данных задавались поля приземного ветра и атмосферного давления из реанализов NCEP/CFSR и NCEP/CFSv2.

Сравнение данных наблюдений и реанализа показало, что значения скорости ветра могут иногда либо завышаться, либо занижаться с разницей до 2 м/с. По направлению наблюдается хорошее совпадение данных.

Для анализа преобладающего направления ветра были выделены 6 точек вдоль берега моря, которые характеризуют районы исследования: 1 и 2 – на западе, 3 – на севере, 4 и 5 – на востоке, 6 – на юго-западе.

В период с 1979 по 2017 гг. в 1 точке наблюдалось 140 нагонов, 2 – 109, 3 – 40, 4 – 177, 5 – 234, 6 – 32. Сгонов за этот же период в точке 1 наблюдалось 241, 2 – 144, 3 – 109, 4 – 245, 5 – 303, 6 – 9.

На западе и севере нагоны высотой более 1 метра вызываются ветрами преимущественно восточного и юго-восточного направлений. На востоке наблюдается противоположная картина и значительные нагоны вызываются ветрами в диапазоне от северо-западного до юго-западного направлений. На юго-востоке в точке 6 диапазон сокращается до ветров западного и северо-западного направлений.

Скорость ветра в среднем достигает 9–12 м/с, а в отдельных случаях 18 м/с и больше.

Также был проведен анализ экстремальных значений уровня моря возможный раз в 5, 10, 25, 50 и 100 лет. На севере и юго-востоке наблюдаются минимальные экстремальные значения, а на востоке – максимальные. Связано это с преобладающими ветрами,

вызывающими наибольшие нагоны на западном и восточном побережье. На западном побережье уровень, который достигается раз в 100 лет соответствует отметке 4,3 м, а на восточном – 5,8 м.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №18-05-80088.

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВОЗРАСТНОГО СОСТАВА ЛЬДОВ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧУКОТСКОГО МОРЯ В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Павлова Е.А., Юлин А.В., Шевелёва Т.В.

ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
Pavlova@aari.ru

Ключевые слова: Чукотское море, ледяной покров, толщина льда, возраст льда.

Чукотское море – самое южное из арктических морей, тем не менее, с ноября по май – июнь оно полностью покрыто льдами. Ледовый режим Чукотского моря формируется, с одной стороны, под влиянием Арктического бассейна, с которым море имеет открытую границу, с другой стороны, под влиянием адвекции сравнительно теплых беринговоморских вод, поступающих в море через Берингов пролив.

В данном докладе рассматривается юго-западная часть моря, так как через неё проходит восточная часть Северного морского пути и мониторинг этой части моря является наиболее востребованным.

Для анализа возрастного состава льда были использованы данные ледовых карт ААНИИ в формате SIGRID-3 с 1998 по 2020 гг. Получена информация, дополняющая режимные особенности района в последние 20 лет.

Ледообразование в юго-западной части Чукотского моря начинается в октябре, со стороны пролива Лонга. К началу ледообразования в среднем 5–9 % акватории района занято старыми льдами. В ноябре, наряду со старыми льдами, две трети акватории заполняется молодыми льдами, часть льда переходит в следующую возрастную градацию – появляется однолетний тонкий лёд и начинают появляться однолетние льды средней толщины.

К концу декабря вся акватория района покрыта льдом, большая часть всех льдов – серо-белые и однолетние тонкие.

К февралю примерно половина льдов постепенно достигают градации однолетних льдов средней толщины и до конца холодного периода это количество сохраняется. Также в феврале начинают регистрироваться однолетние толстые льды, к концу холодного периода их количество достигает примерно 30 %. С конца мая по июнь со стороны Берингова моря происходит разрушение припайных льдов. Исключение составляет Колючинская губа, где припай в отдельные годы может сохраняться до середины июля.

Анализ данных о состоянии ледяного покрова в юго-западной части Чукотского моря за последние 20 лет показывает снижение общей ледовитости, а также уменьшение толщины льда (смещение значительного количества льда в градации более тонкого льда).

СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ И СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЗАВИХРЕННОСТИ ВЕТРА НА КРУПНОМАСШТАБНУЮ ЦИРКУЛЯЦИЮ И МЕЗОМАСШТАБНУЮ ВИХРЕВУЮ ДИНАМИКУ В ДВУХСЛОЙНОЙ МОДЕЛИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Павлушин А.А.

МГИ, г. Севастополь, Россия
pavlushin@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Черное море, крупномасштабная циркуляция, мезомасштабные вихри, завихренность напряжения ветра, численное моделирование, двухслойная модель.

Согласно результатам многочисленных численных экспериментов, было установлено, что циклонический характер крупномасштабной черноморской циркуляции обусловлен главным образом преобладанием над акваторией Черного моря циклонической завихренности касательного напряжения ветра.

Также из наблюдений известно, что поле завихренности напряжения ветра претерпевает значительную изменчивость в течение года, что естественным образом отражается в изменении характера крупномасштабной циркуляции. Усиление завихренности касательного напряжения ветра в осенне-зимний период, приводит к тому, что Основное Черноморское течение (ОЧТ) в

этот период становится более интенсивным и устойчивым. Весной и летом в целом над морем происходит значительное ослабление циклонической завихренности напряжения ветра, а над его западной частью возможно даже изменение знака завихренности. При этом в отсутствии силовой поддержки воздействия ветра, обостряются процессы гидродинамической неустойчивости ОЧТ, проявляющиеся в его меандрировании и образовании мезомасштабных вихревых образований.

Цель настоящей работы состоит в том, чтобы с помощью двухслойной модели более тщательно рассмотреть и постараться понять физику этих процессов.

В отличие от результатов численных экспериментов со стационарным форсингом, при учете сезонной изменчивости завихренности ветра в Черном море оказываются возможными два режима крупномасштабной циркуляции, качественно отличающихся между собой. В одном случае ОЧТ в течение всего года распространяется вдоль материкового склона в виде меандрирующей струи. В другом случае – в летний период в восточной части моря ОЧТ разваливается на отдельные циклонические вихри.

В серии проведенных численных экспериментов главными факторами, определяющими характер крупномасштабной циркуляции в текущем году, кроме сезонной изменчивости ветра, оказались величина среднегодовой завихренности касательного напряжения ветра и пространственное распределение течений на поверхности моря осенью предшествующего года перед началом осенне-зимнего усиления циклонической завихренности напряжения ветра.

Поле скорости поверхностных течений влияет на количество поступающей через морскую поверхность ветровой энергии, которая равна скалярному произведению вектора касательного напряжения ветра на вектор скорости поверхностного течения. Процесс формирования крупномасштабной циркуляции под воздействием сезонно-меняющегося ветра осложняется еще и тем, что изменчивость завихренности напряжения ветра стимулирует образование бароклинных волн Россби в верхнем слое моря, которые могут изменять поле течений.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0003 «Оперативная океанология».

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛЯ ВЕТРА НАД ПРОЛИВОМ ФРАМА ПО МНОГОЛЕТНИМ ДАННЫМ РЕ-АНАЛИЗА ERA-5

Погребной А.Е.

МГИ, г. Севастополь, Россия
pogrebok57@mail.ru

Ключевые слова: Пролив Фрама, климатические поля, сезонная изменчивость, ре-анализ ERA-5, скорость ветра, температура поверхности моря, температура воздуха.

Арктический бассейн играет одну из ключевых ролей в формировании погоды и климата нашей планеты. Глубинная циркуляция между ним и другими частями Мирового океана осуществляется в основном через пролив Фрама между Гренландией и Шпицбергеном шириной около 450 км. Это самый глубокий из всех Арктических проливов. Его глубина более 2600 м, тогда, как у остальных – 120 ÷ 160 м.

Временная изменчивость, географические особенности и интенсивность поверхностных течений, термические характеристики вод и теплообмен океана с атмосферой зависят от скорости ветра, температуры воздуха и атмосферного давления. Поэтому целью анализа было исследование сезонной изменчивости климатических полей атмосферы в проливе Фрама и прилегающих Гренландском и Норвежском морях между Гренландией, Исландией, Скандинавским полуостровом и о. Шпицберген (65° с. ш. – 85° с. ш., 20° з. д. – 20° в. д.).

Анализировались глобальные массивы данных реанализа ERA5 Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды ECMWF (European Centre for MediumRange Weather Forecasts) пятого поколения (с разрешением 0,25°×0,25°). Использовался 40-летний временной интервал (1979–2018 гг). По этим данным были рассчитаны ежемесячные климатические поля скорости ветра и его завихренности, атмосферного давления, температур воздуха и морской поверхности.

В данном районе скорость ветра зимой (среднемесячные климатически значения) составляет около 5 м/с. Завихренность поля ветра в феврале, кроме прибрежных участков, циклоническая и достигает значений $1{,}5 \cdot 10^{-5}$ $с^{-1}$. Летом ветер существенно слабее. В августе его максимальные среднемесячные значения менее 1 м/с. Завихренность ветра также невелика и вдали от берегов не превышают $3 \cdot 10^{-6}$ м/с.

У берега Гренландии, в проливе Фрама и к северу от него средняя температура поверхности моря (ТПМ) в течение всего года близка к -1,7°С, а ее среднеквадратичные отклонения (СКО) от установленных климатических значений не превышают 0,1 °С. В южной части исследуемого района наличие Северо-Атлантического и Западно-Шпицбергенского течений приводит к повышению ТПМ. В феврале к западу от ова Шпицберген в полосе 150–200 км средняя ТПМ достигает 2 °С, а у побережья Норвегии 5,5 °С. В августе климатические значения ТПМ во всем Норвежском море и у западной границы о.Шпицберген выше +8°С. Летом граница между льдами и свободной от них поверхности моря смещается к северу на 500–600 км.

Там, где нет льда, СКО ТПМ и зимой и летом ~0,6 °С, а у кромки льда, в области шириной 100 ÷ 200 км, достигают 1,2 °С. Это обусловлено Северо-Атлантическим колебанием – доминирующим фактором изменчивости циркуляционных океанических систем Северной Атлантики.

В феврале климатические значения температуры воздуха над Гренландским морем, западной частью пролива Фрама и к северу от него опускаются ниже -20°С, а у берега Норвегии – положительны (~1,5°С). В августе над свободной ото льда морской поверхностью температуры воздуха выше 7°С, а надо льдом – не ниже -2°С.

Для данного района также исследовалась сезонная изменчивость пространственно-временных распределений характеристик атмосферного давления и разности температур поверхности моря и воздуха. Сделаны оценки пространственных распределений дисперсий всех анализируемых величин, по которым также построены климатические карты.

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ, ПОЛУЧЕННЫХ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В ГАННОВЕРСКОМ ЛОТКЕ

Подымов И.С., Подымова Т.М., Кочергин А.Д.

ИО РАН, г. Геленджик, Россия
ipodymov@inbox.ru

Ключевые слова: взвешенные наносы, турбидиметр, помпа отбора проб, акустический измеритель ABS, Ганновер, лоток.

В рамках Германо-Российского научно-технического сотрудничества между «Центром изучения береговой зоны Университета Ганновера и Технического Университета Брауншвейга» и Институтом океанологии выполнялись экспериментальные исследования по программе «Моделирование гидро- и литодинамических процессов в береговой зоне». Работы проводились в большом волновом лотке города Ганновер в три этапа с 2006 по 2008 гг.

В состав оборудования, использованного при выполнении исследований, входили измерители концентрации взвешенных наносов: 5 оптических турбидиметров (ИО РАН), голландская автоматизированная помпа (TSS) для отбора проб на 5 горизонтах в режиме online, 2 акустических профилографа ABS Aquascatt-Profiler. Для других измерений использовались струнные волнографы и электромагнитные датчики составляющих скорости течения «Stromungssensor Typ S».

Постановка эксперимента. Волновой режим задавался компьютером, управляющим волнопродуктором. Турбидиметры и шлюзы помпы отбора проб устанавливались, примерно, на одинаковых горизонтах. Профилографы ABS устанавливались у поверхности. Такая схема расположения измерителей концентрации взвешенных наносов использовалась для оценки степени расхождения результатов измерений.

Методика измерений. Длительность измерительного теста для каждого волнового режима составляла 45 минут. Данные с турбидиметров вводились в компьютер с частотой 40 Гц. Отбор проб

с помощью помп осуществлялся за 10 минутный интервал для каждого теста. Данные с ABS записывались отдельно в соответствии с программой работы прибора.

Результаты измерений показали, что для всех волновых режимов и горизонтов измерений данные с измерителей TSS с высокой точностью совпадали с данными турбидиметров, осредненными за период измерений помпами. Показания же профилографов ABS лежали, в основном, далеко от значений, полученных предыдущими измерителями.

На основании полученных результатов сделан вывод, что данные акустических измерителей ABS можно использовать для численного моделирования только с жесткими граничными условиями.

В то же время оптические турбидиметры, реализующие принцип измерения ослабления светового потока взвешенными в воде частицами, зарекомендовали себя с хорошей стороны для всех волновых режимов. По окончании эксперимента коллеги из Германии отметили, что только турбидиметры позволяют проводить качественные измерения мгновенных значений концентраций взвешенных наносов в зоне разрушения волн.

Турбидиметр был разработан в Южном отделении Института океанологии РАН. На него получен патент на изобретение. На конференции предполагается представить в развернутом виде материалы перечисленных выше исследований и детальную информацию об оптическом измерителе концентрации взвешенных наносов.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШТОРМОВЫХ НАГОНОВ В РАЙОНЕ МОРСКОЙ СТАНЦИИ ТЕМРЮК

Полозок А.А.[1,2], Фомина И.Н.[2]

[1]МГИ, г. Севастополь, Россия
[2]ГОИН, г. Москва, Россия
polozok.umi@gmail.com

Ключевые слова: нагоны, штормовые ситуации, уровень моря, измерения уровня, моделирование.

В условиях сокращения финансирования морских станций использование альтернативных методов пополнения баз данных морских наблюдений имеет высокую актуальность. Одним из наиболее эффективных методов пополнения рядов значений считается применение для расчета уровня моря численных гидродинамических моделей.

Авторами работы проведено сравнение имеющихся натурных данных наблюдений с полученными результатами численного моделирования опасных нагонных колебаний уровня моря в районе морской станции Темрюк. Критериями выбора указанной станции и 2013 г. стали ежегодная фиксация в среднем 2 штормовых нагонов вблизи данной МГС и наличие за 2013 г. непрерывных рядов ежечасных наблюдений уровня моря и полей скорости ветра и атмосферного давления над Азово-Черноморским бассейном.

Модельные данные рассчитаны для 3 длительных штормовых нагонов, наблюдаемых в марте, апреле и октябре 2013 г.

В качестве входных данных для моделирования использованы поля скорости ветра и атмосферного давления над Азово-Черноморским бассейном из мезомасштабной метеорологической модели WRF с дискретностью по времени 3 ч и пространственным разрешением 0,05°. Для расчетов уровня моря и полей течений в Азово-Черноморском бассейне применялась совместная численная гидродинамическая модель.

Полученные для каждого из 3 штормовых нагонов данные моделирования имеют достаточно высокую силу корреляции с сопоставимыми по времени данными натурных наблюдений. Хорошая сопоставимость также выявлена для основных статистических характеристик исследуемых рядов значений.

Рассчитанные данные моделирования отличаются большей усредненностью и сглаженностью по сравнению с данными наблюдений. Это связано с тем, что для расчета модельных рядов использовались поля скорости ветра и атмосферного давления над Азово-Черноморским бассейном из мезомасштабной метеорологической модели WRF с дискретностью по времени 3 ч, в то время как фактические замеры уровня моря проводились еже-

часно. Если бы дискретность по времени полей для моделирования составляла 1 час, сопоставимость вариационных рядов была бы еще выше.

Полученные модельные значения при небольших корректировках в сторону увеличения подходят для дополнения пропусков в рядах наблюдений. Данные моделирования хорошо отражают основные тенденции изменчивости реальных значений уровня моря.

РОЛЬ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В ЛЕДОВЫХ ПРОЦЕССАХ ПРИКРОМОЧНОЙ ЗОНЫ В ГРЕНЛАНДСКОМ МОРЕ

Пряхин С.С.[1,4], Башмачников И.Л.[2,3,4], Козлов И.Е.[4], Петренко Л.А.[4], Claudia Wekerle[5]

[1]ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
[2]СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
[3]Фонд «Нансен-центр», г. Санкт-Петербург, Россия
[4]МГИ, г. Севастополь, Россия
[5]AWI, Bremerhaven, Germany
pryakhin@aari.ru

Ключевые слова: Гренландское море, мезомасштабные вихри, морской лёд.

Мезомасштабные вихри представляют собой изолированные вращающиеся динамические структуры со временем существования от нескольких дней до нескольких лет, с горизонтальными размерами от нескольких до первой сотни километров. Вертикальные размеры составляют от сотен метров до километров (от поверхности океана до дна). За счет определенной изолированности системы и как следствие слабого обмена с окружающей средой, вихри способны захватывать и переносить существенные объемы вещества и энергии на значительные расстояния (Chelton D.B., et al., 2011). Впервые вопрос влияния вихрей на ледовый режим в Гренландском

море был рассмотрен по результатам проекта MIZEX, опубликованных в (Johannessen et al. 1987). В этой работе было выявлено наличие конвергенции льда к центру вихрей, что указывает на их негеострофичность и приводит к вихревому захвату и переносу льда. Оценки показали, что наличие множества вихрей усиливает абляцию летом, причем кромка льда отступает на 1-2 км в день, что существенно и необходимо включить в моделирование динамики кромки льда (Johannessen et al., 1987).

В настоящем исследовании нами использовались данные модели океана очень высокого разрешения (1x1 км) на неструктурированной сетке FESOM в районе 75°–78° с. ш. и 20° з. д.–10° в. д., предоставленной институтом Полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера. Предварительно была проведена валидация динамики модельной кромки льда в сравнении со спутниковыми микроволновыми данными AMSR-E, а также валидация статистических свойств вихрей в сравнении с изображениями спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА). Использовались данные визуальной идентификации вихрей в РСА за период таяния льда с июня по сентябрь 2007 г.

Выполненное сравнение за 2007 год среднемесячного положения кромки льда, а также усредненной по региону концентрации льда, данных FESOM со спутниковыми микроволновыми данными AMSR-E показали высокую реалистичность модели FESOM. Кромка льда по данным модели FESOM расположена несколько восточнее кромки AMSR-E (в среднем на 30 км), что соответствует 3–4 радиусам деформации Россби, однако хорошо отображает сезонный ход. Результаты валидации статистических свойств вихрей, выделенных по данным FESOM и изображениям спутниковых радиолокаторов (РСА) выявили схожесть характеристик аналогично идентифицированных вихрей, что подтверждает возможность использования модели для исследования мезомаштабных вихрей.

Анализ распределения вихрей по широте по данным FESOM показал, что на протяжении теплого сезона 2007 г. большая часть идентифицированных вихревых структур была сосредоточена в северной части исследуемого района, которая примыкает с юга к проливу Фрама. Это может быть вызвано как локальным вихреобразованием, так и перемещением вихрей с северо-востока. Визуальный анализ процессов взаимодействия вихрей и морского льда показал,

что сконцентрированные вблизи кромки льда вихревые структуры активно захватывают морской лед, что приводит к перемещению филаментов из льда, различной площади и протяженности, на восток, в область более теплых вод. Выявлено также, что вихревые структуры являются важным фактором горизонтального водообмена и играют существенную роль в затоках теплых вод к кромке льда, способствуя ускоренной ее деформации и разрушению.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ № 21-17-00278.

ТЕЧЕНИЯ ОКЕАНИЧЕСКИХ ВОД НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ВОД МИРОВОГО ОКЕАНА

Пузина О.С., Мизюк А.И.

МГИ, г. Севастополь, Россия
oksana_puzina@mhi-ras.ru

Ключевые слова: морские течения, Мировой океан, *NEMO*, численное моделирование.

На основе существующей системы диагноза и прогноза Черного моря, была создана аналогичная система для Мирового океана. Численный расчет проводился на основе модельного комплекса *NEMO*. Пространственное разрешение численного домена составляет 0,25°.

В данной работе большое внимание уделяется циркуляции вод на основе численных расчетов. Полученные результаты сопоставлялись с геострофическими скоростями, которые были рассчитаны по данным спутниковой альтиметрии, который был взят из системы службы Copernicus [https://marine.copernicus.eu/].

Расчет воспроизводит основные системы океанических течений. Вокруг Антарктики получены течения, где максимальная скорость достигает 1,6 м/с. Аналогичная структура наблюдается в наблюдениях, однако скорость в Южном океане не превышает 1,4 м/с.

В расчете присутствуют структуры, соответствующие течениям Гольфстриму и Куросио. Модель демонстрирует меандрирование и образование рингов в данных районах, такая динамика аналогична наблюдениям. Полученные значения модуля скорости оказались чуть меньше, чем в спутниковых данных.

В районе экватора по результатам моделирования получены течения следующего вида: около экватора присутствует струя направленная на восток. С юга и с севера, относительно выше описанного экваториального противотечения, расположены течения направленные в противоположную сторону. Полученные результаты схожи с наблюдениями.

В Индийском океане модель демонстрирует изменение направления течения в зависимости от времени года. Зимой струя направлена на запад. Начиная со второй половины весны течение меняет свое направление на восточное. В данный период во временной изменчивости направления течения наблюдаются резкое, но не продолжительная смена знака, что возможно связано с ослаблением ветра. В итоге такая пространственная и временная изменчивость соответствует наблюдениям.

В итоге, полученный расчет экспериментальной системы диагноза и прогноза Мирового океана хорошо воспроизводит характерные крупномасштабные течения. Результаты численного моделирования согласуются с геострофическими скоростями, полученными из спутниковых данных альтиметрии. Есть небольшие различия среди показателей скоростей, что говорит об необходимости усовершенствовании данной модели.

СТРУКТУРА АТМОСФЕРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Репина И.А., Артамонов А.Ю., Барсков К.В., Пашкин А.Д.

ИФА РАН, г. Москва, Россия
repina@ifaran.ru

Ключевые слова: атмосферная турбулентность, прибрежные зоны, стратификация атмосферы, атмосферный пограничный слой.

В работе рассматриваются результаты измерений структуры атмосферной турбулентности в прибрежной зоне с горным рельефом при переходе ветрового потока с берега на море и с моря на берег и в зависимости от удаления от берега. Измерительные установки располагались по склону от вершины Ай-Петри до берега, а также на морской платформе. Эти данные позволяют сравнивать турбулентные потоки и другие статистические характеристики, а также исследовать масштабирование поверхностного слоя для различных областей формирования потока. Было получено, что коэффициент сопротивления и суточные вариации потока явного тепла являются индикаторами области формирования потока. Коэффициент аэродинамического сопротивления на суше на порядок больше, чем на гладкой морской поверхности. При береговом потоке внутренний пограничный слой в прибрежной зоне был либо стабильным, либо (в основном) нестабильным, и резко менялся на разрыве поверхности суши. Морской поток обычно теплого воздуха над более прохладной морской поверхностью создавал устойчивый внутренний пограничный слой над морской поверхностью. Рассмотрены критерии применимости теории подобия Монина-Обухова при описании пограничного слоя в прибрежной зоне.

Работа выполнена при поддержке РНФ №21-17-000249. Экспериментальные работы проводились за счет РФФИ № 20-05-00834.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ В МОРЯХ ТИХООКЕАНСКОЙ СУБАРКТИКИ И ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Рудых Н.И., Ростов И.Д., Дмитриева Е.В.

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
rudykh@poi.dvo.ru

Ключевые слова: региональные особенности, температура воздуха, температура воды, климат, тренды потепления.

Специфика современных климатических изменений термических условий, происходящих в морях, прилегающих к восточной части России, определяется не только географическим положением, интересно проанализировать региональные особенности межгодовой изменчивости приземной температуры воздуха и воды, проявляющиеся в результате глобальных изменений на рубеже 20–21 веков и оценить их тенденции и возможные причинно–следственные связи с процессами в атмосфере и на поверхности океана. Для этого использовались данные наблюдений за приземной температурой на метеостанциях с 1978 года и сеточные данные реанализа NCEP/NCAR (Reanalysis-1) – различные параметры. Для обеспечения сопоставимости количественных оценок для разных географических районов применялась единая методика обработки и анализа используемых данных. Выявлено, что в ходе межгодовых колебаний температуры воздуха и воды, а также в рядах климатических индексов отмечаются статистически значимые трендовые составляющие, которые указывают на произошедшую в конце 1990-х – начале 2000-х гг. смену режима крупномасштабной атмосферной циркуляции

ДЛИННЫЕ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ, ГЕНЕРИРУЕМЫЕ ОБЛАСТЯМИ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ФОРМЫ В СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ПОТОКАХ

Санников В.Ф.

МГИ, г. Севастополь, Россия
vf_sannikov@mail.ru

Ключевые слова: математическая модель, генерация, внутренние волны, длинноволновое приближение, барические образования, неровности дна.

Внутренние волны в океане, генерируемые движущимися областями атмосферных давлений и при обтекании течениями больших неровностей дна, относятся к классу корабельных волн.

В работе представлено развитие математической модели формирования полей внутренних волн, образующихся в потоках стратифицированной жидкости при обтекании областей эллиптической формы возмущений поверхности или дна бассейна.

Основные цели работы: разработка эффективных методов расчета волновых полей и установление зависимостей их характеристик от основных параметров модели.

Исследование проведено в рамках линейной теории волн с использованием гидростатического приближения и приближения f – плоскости. Волновое поле представляется в виде разложения по модам внутренних волн. Коэффициенты этого разложение, представляющие распределение амплитудных характеристик по горизонтали, удовлетворяют двумерному уравнению Клейна-Гордона, решение которого записывается тройным интегралом.

Прямое использование таких выражений в расчетах связано со значительными затратами времени. С целью получения более эффективного алгоритма рассмотрены модельные распределения возмущений границ жидкости, для которых с помощью методов комплексного анализа получена более компактная форма представления решения в виде двойных интегралов. Это позволило сократить время на расчеты в 10–20 раз.

Выполненные численные эксперименты позволили установить особенности распределений амплитудных характеристик волнового следа в широком диапазоне изменений параметров генераторов волн и, в частности, очертить область применимости двухмерных волновых моделей.

ДИССИПАЦИЯ ЭНЕРГИИ ВОЛН, ОБРУШАЮЩИХСЯ РАЗНЫМИ ТИПАМИ, В СПЕКТРАЛЬНЫХ ВОЛНОВЫХ МОДЕЛЯХ

Сапрыкина Я.В.[1], Айдоган Б.[2], Аят Айдоган Б.[3]

[1]ИО РАН, г. Москва, Россия
[2]ГТУ, г. Стамбул, Турция
[3]ЙТУ, г. Стамбул, Турция
saprykina@ocean.ru

Ключевые слова: диссипация энергии волн, обрушение волн, моделирование, спектральные волновые модели.

Для моделирования любых динамических процессов в береговой зоне моря необходимы параметры поля волн. При приближении к берегу волны трансформируются, изменяя свою высоту и форму, и обрушаются. Обрушение волн характеризуется значительными потерями (диссипацией) их энергии. Изменения формы волн, например, их симметрии относительно вертикальной и горизонтальной осей, происходящие за счет нелинейных процессов и обрушения, приводят к изменению высших статистических моментов волнового движения, влияющих на величину и направление расхода наносов в береговой зоне. Волны в береговой зоне могут обрушаться разными типами, наиболее частыми из которых являются скользящий и ныряющий бурун. Как было показано ранее, разному типу обрушения соответствует разный спектральный состав волн и их симметрия.

На сегодняшний день существует два основных типа спектральных моделей: фазоосредненные, (например, SWAN, моделирование спектра волн конечно-разностными методами) и фазоразрешающие, (например, основанные на уравнениях Буссинеска, решаемых спектральными методами). Эти модели с большой точностью описывают линейную и нелинейную трансформацию спектра волн над реальным рельефом дна в береговой зоне. Однако точность описания в этих моделях диссипации спектральной энергии при обрушении волн оставляет желать лучшего. До сих пор нет не только общепризнанной и хорошо проверенной модели диссипации энергии волн в прибойной зоне, но и точного физического описания изменений спектральных свойств волн (частотного состава) в процессе обрушения. Суще-

ствует несколько различных способов, применяемых при моделировании, когда (1) обрушение волн не изменяет формы спектра, а лишь уменьшает спектральную плотность волнения в число раз, одинаковое для всех частот или (2) спектральная плотность при обрушении уменьшается в зависимости от квадрата частоты или (3) применение этих двух способов одновременно, но к разным частям спектра. Однако, как эти подходы согласуются с типом обрушения волн и как влияют на точность спектрального моделирования реального волнения, остается неизвестным.

Поставленная задача решалась путем сравнения спектров, рассчитанных по двум спектральным моделям (SWAN и модель Буссинеска с улучшенными дисперсионными характеристиками) без учета диссипации и измеренных экспериментально в натурных условиях волн, обрушающихся разными типами.

Установлено, что для волн, обрушающихся скользящим буруном, вид коэффициента диссипации, полученный по обеим моделям, совпадает: существует частотная избирательность диссипации энергии на частотах второй и третьей нелинейных волновых гармониках. Однако в целом значения коэффициента невелики и, если требуемая точность моделирования не очень важна, то он может быть приблизительно принят постоянным (одинаковым) для всех частот, что согласуется с упомянутым выше способом (1) описания диссипации волновой энергии.

Волны, обрушающиеся ныряющим буруном, имеют существенно больший коэффициент диссипации, который квадратично зависит от частоты второй гармоники в модели SWAN и от всех частот в модели Буссинеска. Это соответствует вышеописанному способу (2). Обсуждаются особенности скорости передачи энергии по спектру в высшие частоты в фазосредненных и фазоразрешающих моделях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ТУБИТАК в рамках научного проекта РФФИ 20-55-46005.

ОЦЕНКИ ПОТОКОВ СОЛИ В ЗАДАЧЕ «СОТВОРЕНИЯ МИРА»

Сендеров М.В., Мизюк А.И.

МГИ, г. Севастополь, Россия
maxim.senderov@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Черное море, вертикальная халинная стратификация, пролив Босфор, численное моделирование, долгопериодные расчеты.

Работа по изучению формирования вертикальной халинной структуры Черного моря ведется уже несколько лет. Для ее реализации был выполнен ряд долгосрочных численных экспериментов (период расчета порядка 300 лет) в бассейнах Азовского, Черного и Мраморного морей с различными начальными и граничными условиями.

Последняя работа была посвящена формированию вертикальной халинной стратификации и исследованию водообмена через пролив Босфор под влиянием граничных условий на поверхности. Численные расчеты для этой задачи выполнялись на базе модельного комплекса NEMO, продолжительность экспериментов составляла 65 модельных лет. Потоки тепла, которые учитывались как граничные условия на поверхности, были получены в отделе ВАО ФГБУН ФИЦ МГИ. В проведенных экспериментах задавались следующие граничные условия: суммарный поток тепла, суммарный поток коротковолнового излучения, испарение минус осадки, постоянное циклоническое (в другом эксперименте постоянное с сезонным ходом) тангенциальное напряжение трения ветра в зональном и меридиональном направлениях. Результаты расчетов показали, что под влиянием потоков тепла появляется верхний квазиоднородный слой (ВКС). В экспериментах с ветровым воздействием ВКС выражен более явно. Учет приведенных выше граничных условий повлиял и на расход через пролив Босфор. Значение расходов (верхне- и нижнебосфорского течений) уменьшилось в два раза по отношению к расчетам без какого-либо воздействия.

Продолжая анализ данных численного моделирования полученных ранее, был проведен анализ потоков соли в черноморском бассейне. Для этого были рассчитаны потоки соли в слое на глубинах: 20, 40, 60, 126, 160 м. В экспериментах с ветровым воздействием максимальные значения потока соли наблюдаются на глубине 60 м. Это связанно с более интенсивным перемешиванием в верхних слоях. В двух других расчетах (без каких-либо воздействий и с потоками тепла на поверхности) наибольший поток соли находится на глубине 40 м., на этой глубине происходит

вток высокосоленых мраморноморских вод в черноморский бассейн. Во всех расчетах присутствует положительный тренд в потоке соли на глубине 40 м., что свидетельствует о продолжении осолонения черноморского бассейна.

Работа выполнена по теме гос. задания № 0555-2021-0007 «Междисциплинарное численное моделирование и высокопроизводительные вычисления».

РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ АПВЕЛЛИНГОВ ПО ТЕРМИЧЕСКОМУ ИНДЕКСУ

Серебренников А.Н.

ИПТС, г. Севастополь, Россия
swsilv@gmail.com

Ключевые слова: апвеллинг, температура поверхности океана, термический индекс апвеллинга, межгодовая изменчивость.

Интенсивность прибрежных апвеллингов определяется скоростью подъема воды, зависящей от пространственно-временной структуры приповерхностного ветра. Расчет скорости подъема воды сводится к вычислению касательного напряжения вдольберегового ветра и вычислению сил Кориолиса, которые индуцируют экмановский перенос. Это так называемый «экмановский индекс апвеллинга» может быть интерпретирован как поток воды, теоретически переносимый в сторону от берега под действием напряжения ветра и вызывающий компенсирующий восходящий поток более холодной воды. Этот индекс апвеллинга не учитывает батиметрию континентального шельфа и поэтому не может передать сложность двухмерной пространственной структуры апвеллинга. Поэтому характеристики апвеллинга традиционно оцениваются по более многочисленным данным о температуре поверхности океана (ТПО) с помощью термического индекса апвеллинга (ТИА), представляющего собой разность ТПО

в прибрежной и удаленной мористой зонах. Таким образом, приповерхностный ветровой поток и прибрежная ТПО являются двумя взаимно дополняющими параметрами для количественной оценки пространственной протяженности и интенсивности процесса апвеллинга, первый из которых определяется физической теорией и второй основан на непосредственном наблюдении.

В данной работе показано развитие методики вычисления межгодовой изменчивости апвеллинга по термическому индексу.

В 2018 г. автором была предложена улучшенная методика выделения апвеллинга, основанная на построении ежемесячных климатических масок, внутри которых рассчитываются его параметры. Тем самым максимально удаляются из расчёта характеристик апвеллинга области с внеапвеллинговыми водами. Граница апвеллинга находилась по максимальному градиенту ТИА для всех географических широт исследуемого региона каждого климатического месяца. Далее в этой области рассчитывалось среднее значение ТИА.

В 2021 г. совместно с А.Б. Полонским была предложена методика вычисление межгодовой тенденции апвеллинга через минимальные значения ТИА. Для оценки тренда в интенсивности подъема вод использовался тот факт, что вертикальный градиент температуры воды в термоклине под верхним перемешанным слоем (ВПС) много больше горизонтального термического градиента в ВПС. При этом по сравнению с анализируемыми климатическими временными масштабами перемешивание в ВПС происходит практически мгновенно. Вследствие этого, в районе апвеллинга можно выделить участки с минимальными значениями ТИА, которые обычно приурочены к областям наиболее интенсивного подъема вод. По некоторому количеству этих значений, определенных алгоритмически, строились линейные тренды межгодовой изменчивости минимальных значений ТИА для каждого месяца. После этого рассчитывалось среднее значение минимального ТИА для каждого года из выбранных месяцев, для которых коэффициент детерминации превышал определенный порог.

Межгодовая изменчивость ТИА, построенная по разным методикам сравнивалась с межгодовой изменчивостью суммарной скорости подъема воды, полученной из экмановских транспорта

и накачки для Бенгельского и Канарского апвеллингов. Изменчивости, рассчитанные по минимальным значениям ТИА и по суммарной скорости подъема воды, совпали по своему характеру и показали, что интенсификация апвеллингов за исследуемый промежуток времени носит немонотонный характер.

КРУПНОМАСШТАБНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЗИМНЕЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ БАРЕНЦЕВА И ЧЕРНОГО МОРЕЙ

Посошков В.Л., Баянкина Т.М., Сизов А.А.

МГИ, г. Севастополь, Россия
sizov_anatoliy@mail.ru

Ключевые слова: САК, АМО, температура поверхности океана.

Поверхностная температура Баренцева и Черного морей изменяется под воздействием циркуляции атмосферы в Атлантико-Европейском секторе и теплового состояния верхнего слоя Северной Атлантики. Межгодовую изменчивость циркуляции атмосферы в этом регионе представляет индекс Североатлантичекого колебания (САК), а междесятилетнюю изменчивость аномалии поверхностной температуры Северной Атлантики представляет индекс Атлантической мультидекадной осцилляции (АМО). В анализируемом временном интервале (1948–2020 гг.) междесятилетняя изменчивость индексов САК и АМО не всегда совпадала по фазе, поэтому для получения более обоснованных оценок изменчивости поверхностной температуры Баренцева и Черного морей выбирались два временных отрезка. Первый соответствовал в основном отрицательной фазе АМО («холодная» Северная Атлантика) и частично отрицательной фазе САК (1957–1994 гг.). Второй временной отрезок (1995–2020 гг.) соответствовал положительной фазе АМО («теплая» Северная Атлантика) и положительной фазе САК. Согласно публикациям, в отрицательную фазу САК атлантические циклоны в Атлантико-Европейском

секторе распространяются по более южным траекториям, а в положительную фазу САК– по более северным траекториям.

Учитывая, что барические системы в Атлантико-Европейском секторе переносятся в направлении ведущего потока, отождествляемого с направлением изогипс в высотной фронтальной зоне (ВФЗ), были рассмотрены положения изогипс в разные фазы изменчивости индекса АМО. На западных границах Баренцева и Черного морей (30° в. д.) рассматривалась изменчивость положения изогипсы 540 мб. Для сравнения рассматривались процессы на нулевом градусе долготы. По сглаженным фильтрам пятилетнего скользящего среднего рядам ВФЗ рассчитана их корреляция с индексом САК (табл. 1).

Таблица 1. Коэффициенты корреляция широтного положения ВФЗ на 0° и 30° в. д. с индексом САК в различные фазы индекса АМО.

Широтное положение ВФЗ	Отрицательная фаза АМО			Широтное положение ВФЗ	Положительная фаза АМО		
	0°	30°в.д.	САК		0°	30°в.д.	САК
0°		0,49	0,26	0°		-0,53	-0,57
30° в.д.	0,49		0,60	30° в.д.	-0,53		0,49
САК	0,26	0,60		САК	-0,57	0,49	

Как следует из табл.1 в годы отрицательной фазы АМО ВФЗ над Европой имеет преимущественно зональное направление. В годы положительной фазы АМО зональность положения ВФЗ нарушается. Более северное положение ВФЗ над западной Европой сопровождается её смещением на юг на 30° в. д. и наоборот. При этом в положительную фазу САК над западной Европой ВФЗ занимает более южное положение, а над восточной Европой – более северное. Результатом такого смещения ВФЗ на долготах Баренцева и Черного морей в разные фазы АМО является синхронная изменчивость аномалий их поверхностной температуры. В годы положительной фазы САК средняя поверхностная температура Баренцева моря в январе-марте становится теплее климатической нормы, а температура Черного моря холоднее. В годы отрицательной фазы САК средняя за январь-март температура

Баренцева моря становится холоднее климатической нормы, а температура Черного моря теплее.

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПЕРНОС ИМПУЛЬСА ИНЕРЦИОННО-ГРАВИТАЦИОННЫМИ ВНУТРЕННИМИ ВОЛНАМИ НА СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Слепышев А.А.[1], Носова А.В.[1], Рыбалкина М.В.[2]

[1]МГИ, г. Севастополь, Россия
[2]Филиал МГУ в г. Севастополе, Россия
slep55@mail.ru

Ключевые слова: внутренние волны, стоксов дрейф, вертикальные потоки импульса.

Вертикальный обмен в морской среде играет ключевую роль в функционировании морской экосистемы. Традиционно вертикальный перенос связывается с мелкомасштабной турбулентностью. Механизмы генерации мелкомасштабной турбулентности самые разные: ветровое перемешивание в верхнем квазиоднородном слое, обрушение внутренних волн, гидродинамическая неустойчивость течений и внутренних волн. В пикноклине мелкомасштаная турбулентность сильно подавлена и представляется актуальным исследовать вклад внутренних волн в вертикальный обмен. При учете турбулентной вязкости и диффузии внутренние волны затухают. Однако у инерционно-гравитационных внутренних волн в двумерном сдвиговом потоке мнимая часть частоты отлична от нуля даже и при неучете турбулентной вязкости и диффузии. Это связано с тем, что уравнение для амплитуды вертикальной скорости внутренних волн в этом случае имеет комплексные коэффициенты, собственная функция и частота волны – комплексные. Мнимая часть частоты, как показали расчеты на северо-западном шельфе Черного моря, у первой моды свободных внутренних волн отрицательна в низкочастотной области, т. е. волна слабо затухает. Если волновое число больше

0,05 рад/м, то мнимая часть частоты у первой моды положительна, т. е. имеет место слабое усиление волны. У второй моды мнимая часть частоты всегда отрицательна, т. е. волна слабо затухает. Вертикальные волновые потоки импульса при этом отличны от нуля. Представляет интерес исследовать влияние на эти процессы горизонтальной турбулентной вязкости и диффузии. Показано, что при учете турбулентной вязкости и диффузии мнимая часть частоты волны всегда отрицательна. Декремент затухания волны при этом возрастает на два-три порядка. Волновые потоки импульса также возрастают и могут превосходить соответствующие турбулентные потоки импульса.

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ПРИЛИВНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В МОДЕЛИРОВАНИИ РЕГИОНАЛЬНОГО КЛИМАТА БАРЕНЦЕВА, КАРСКОГО МОРЕЙ И МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Софьина Е.В., Каган Б.А., Тимофеев А.А.

ИО РАН, г. Москва, Россия
sofjina_k@mail.ru

Ключевые слова: приливное перемешивание, внутренние приливные волны, бароклинный прилив, диапикническое перемешивание.

Результаты микроструктурных измерений в районах с изрезанной топографией дна показывают, что над абиссальной равниной в глубинных водах коэффициент вертикальной турбулентной диффузии близок к коэффициенту молекулярной вязкости, над неровностями топографии дна его значение возрастает и может превышать 10^{-3} м^2/с. Ответственной за это повышение считается диссипация бароклинного прилива, которая приводит к диапикническому перемешиванию водной толщи, влияет на термохалинную структуру и может быть причиной вентиляции глубинных вод.

Современные климатические модели могут включать приливное воздействие, однако из-за недостаточного пространственного

разрешения, обусловленного огромными вычислительными затратами, они не описывают корректно внутренние приливные волны.

Предлагается косвенный способ учета приливного перемешивания, который заключается в аддитивном увеличении коэффициента вертикальной турбулентной вязкости и диффузии на величину коэффициента диапикнической диффузии, обусловленного диссипацией бароклинной приливной энергии. Последний определяется по формуле Осборна. Для получения оценок диссипации бароклинной приливной энергии решается вспомогательная задача – привлекается 3х-мерная модель моря высокого разрешения, явно воспроизводящая внутренние приливные волны.

Для апробации параметризации приливного перемешивания была выполнена серия численных экспериментов по установлению климата моря без учета приливов, с явным и косвенным способом учета приливов.

Согласно полученным результатам моделирования внутренние приливные волны во всех трех рассматриваемых морях являются захваченными волнами и их генерация и диссипация происходят локально. Очаги генерации внутренних приливных волн совпадают с районами, где наиболее часто были зарегистрированы короткопериодные внутренние волны по спутниковым радиолокационным изображениям.

В локальных пятнах коэффициент диапикнической диффузии, определяемый диссипацией бароклинной приливной энергии, может превышать 10^{-1} м^2/с. Средний (по объему моря) коэффициент диапикнической диффузии в море Лаптевых равен $2{,}6\times10^{-3}$ м^2/с, в Карском и Баренцевом морях $0{,}5\times10^{-3}$ м^2/с и $1{,}6\times10^{-3}$ м^2/с соответственно. Вертикальный масштаб вырождения внутренних приливных волн в локальных пятнах на шельфе достигает 20–30 м от дна, над континентальным склоном 100–400 и 30–50 м в глубоководной части моря Лаптевых.

При явном учете приливного форсинга потенциальная бароклинная энергия увеличилась в 18 раз в Баренцевом море и в 13 раз в Карском, кинетическая бароклинная энергия – более чем в 2 раз в Баренцевом море и на 30 % в Карском. Вклад приливов в формирование климата Баренцева моря можно считать значимым наряду с другими климатообразующими факторами, тогда

как климат Карского моря испытывает заметные изменения, связанные с учетом приливного форсинга, и соответственно нет оснований, чтобы им пренебрегать.

Сравнение модельных результатов, полученных при явном и косвенном способах учета приливов, показало, что использование предложенной параметризации приливного перемешивания является приемлемым.

ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОГО СЖАТИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА РАЗВИТИЕ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ И ПОГРУЖЕННОЙ СФЕРЫ

Стурова И.В., Ткачева Л.А.

ИГиЛ СО РАН, г. Новосибирск, Россия
sturova@hydro.nsc.ru

Ключевые слова: плавающий ледяной покров, изгибно-гравитационные волны, неравномерные сжимающие усилия, движущаяся нагрузка, погруженная сфера, волновые силы.

В настоящее время достаточно полно исследована задача о генерации изгибно-гравитационных волн при движении локализованной области внешнего давления по ледяному покрову, плавающему на поверхности жидкости. Движущаяся нагрузка может представлять собой обычный автомобиль, самолет на режимах взлета или посадки, а также судно на воздушной подушке. Большой интерес представляет также изучение движения подводных объектов. Значительный вклад в исследование этих задач внесли сотрудники МГИ РАН. Ледяной покров обычно моделировался изначально ненапряженной, однородной изотропной тонкой упругой пластиной. Однако ледяной покров может подвергаться сжатию или растяжению под воздействием ветра, течений или температурных деформаций.

В данной работе рассмотрены решения трехмерных нестационарных задач гидроупругости о влиянии неравномерного (продольного, поперечного и сдвигового) сжатия ледяного покрова на развитие волнового движения, возникающего при мгновенном старте и последующем равномерном прямолинейном движении в двух случаях: внешней локализованной нагрузки и погруженной сферы. Исследовано установившееся волновое движение, возникающее при больших значениях времени. Определены прогибы и деформации ледяного покрова, а также волновые силы.

ТУРБУЛЕНТНЫЙ ТЕПЛООБМЕН В ЗАПАДНОМ СЕКТОРЕ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ НА ФОНЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Суркова Г.В.

МГУ, г. Москва, Россия
galina_surkovamail.ru

Ключевые слова: турбулентный теплообмен, изменения климата, Арктика.

Пространственная структура очагов максимальной и минимальной теплоотдачи над Баренцевым и Карским морями в последние десятилетия не претерпела существенных изменений по сравнению с серединой и второй половиной XX века.

Выявлены современные сезонные особенности пространственной изменчивости потоков H и LE, в частности, показано, что в пределах акватории Баренцева моря эта величина зимой в 5-10 и более раз может превышать летние значения, что обусловлено контрастностью температуры воды по пространству за счет теплых течений. Над Карским морем наибольшая неоднородность в поле потоков характерна для осеннего и начала зимнего сезонов.

Определено, что годовые суммы потоков тепла с поверхности Баренцева моря в среднем в 3–4 и в 5–6 раз, для потоков H и LE,

соответственно, превышают значения для Карского моря, а в отдельные годы могут различаться в десятки раз.

За период 1979–2018 гг. единый тренд интегральной по акватории годовой величины потоков H и LE статистически незначим. Тем не менее, присутствуют направленные декадные изменения, в том числе, наиболее явно выражены уменьшение потоков H на протяжении 1990-х гг., увеличение их в первом десятилетии XXI века и вновь уменьшение в 2010-е гг., показано, что уменьшение турбулентных потоков происходит на фоне ослабления широтного переноса в атмосфере и увеличения площади морского льда.

Показано, что, несмотря на существенную разницу суммарных за год потоков тепла от поверхности Баренцева и Карского морей в атмосферу межгодовые изменения довольно хорошо синхронизированы, что свидетельствует об общности крупномасштабных гидрометеорологических процессов в этих морях, влияющих на турбулентный энергообмен между морями и атмосферой.

Показано, что в среднем величины приземного атмосферного давления над Баренцевым и Карским морями летом выше, чем зимой, однако изменчивость давления в зимнее время выше. В теплое полугодие поле давления над акваториями близко к однородному. В холодное полугодие средние величины давления растут при движении на восток с удалением от Исландской депрессии.

Для зимнего времени характерны значительные аномалии полей атмосферного давления и потоков тепла. Абсолютные значения аномалий превышают таковые в летнее время.

Наибольшие аномалии полей атмосферного давления зимой характерны для индексов NAO и AO и в наибольшей степени они характерны для Баренцева моря. Наибольшие аномалии полей потоков тепла характерны для индексов NAO и SCAND, и их максимум локализован в районе протекания Мурманского и Нордкапского течений. В летнее время аномалии полей всех величин выражены крайне слабо.

АНАЛИЗ ПОВТОРНОГО ПОЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ ТОЛЩИНЫ ПЕРЕМЕШАННОГО СЛОЯ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ В КОНЦЕ 2000-Х ГОДОВ

Сухонос П.А.

ИПТС, г. Севастополь, Россия
pasukhonis@mail.ru

Ключевые слова: верхний перемешанный слой, Северная Атлантика.

В зимние месяцы 2009–2012 годов в Атлантико-Европейском регионе наблюдались суровые погодные условия. Эти зимы были экстремально холодными. Зима 2009/2010 годов была одной из самых холодных зим в Западной Европе. Интенсивная отрицательная фаза Североатлантического колебания (САК) способствовала формированию трипольной структуры в поле аномалий температуры поверхности океана (ТПО) в Северной Атлантике в начале и конце 2010 г. Опубликована точка зрения, согласно которой повторное появление зимних аномалий температуры верхнего слоя Северной Атлантики способствовало сохранению отрицательной фазы САК и повторению условий с аномально низкими температурами воздуха зимой 2010/2011 годов.

Цель работы – проанализировать повторное появление аномалий толщины верхнего перемешанного слоя (ВПС) в северо-восточной части Северной Атлантики (35–60° с. ш. 45–8° з. д.) зимой 2009/2010 и 2010/2011 годов.

В работе использованы среднемесячные данные о толщине ВПС из океанических ре-анализов ORA-S3 за период 1959–2011 гг. на сетке 1° × 1° и GODAS за период 1980–2018 гг. на сетке 1/3° широты × 1° долготы. Толщина ВПС в ре-анализе ORA-S3 (GODAS) принимается равной глубине, на которой число Ричардсона достигает критического значения 0,3 (на которой величина температуры меньше величины ТПО на 0,8 °С).

Статистические особенности случая повторного появления аномалий толщины ВПС изучены с помощью корреляционного

анализа. Анализ коэффициентов корреляции однолетней аномальной структуры толщины ВПС в марте 2009 года с однолетними аномалиями в последующие месяцы до марта 2010 г. показал следующее. Повторное появление аномалий способствует сохранению остаточной аномалии толщины ВПС. Временной ход аномалий толщины ВПС по данным ре-анализа ORA-S3 зимой 2009/2010 годов характеризуется высокими коэффициентами корреляции с марта по май, что свидетельствует о сохранении зимних условий в течение весны. По данным ре-анализа GODAS этого не отмечается. Вместе с тем коэффициенты корреляции уменьшаются по мере увеличения запаздывания, достигнув минимума в июле 2009 года по данным ORA-S3 и GODAS. После этого коэффициенты корреляции увеличиваются до вторичного (значимого) максимума в декабре 2009 г. Этот вторичный максимум совпадает с повторным появлением аномальных характеристик ВПС, которые сохранялись от одной зимы к следующей. При дальнейшем увеличении запаздывания коэффициенты корреляции уменьшаются.

Корреляционная функция для аномалий толщины ВПС за период с марта по декабрь 2010 г. по данным ре-анализа ORA-S3 быстро уменьшается при увеличении временного запаздывания, достигая минимума в мае 2010 г. Корреляционная функция для толщины ВПС за этот период по данным ре-анализа GODAS повторяет ход корреляционной функции за период с марта 2009 г. по март 2010 г. Затем корреляционные функции, полученные по данным ORA-S3 и GODAS, возрастают при увеличении запаздывания (и становятся значимыми для данных ORA-S3) на следующую зиму (декабрь 2010 г.).

Таким образом, несмотря на некоторые различия между корреляционными функциями, рассчитанными по данным о толщине ВПС из массивов ORA-S3 и GODAS, полученный результат в целом подтверждает возможность повторного появления аномалий толщины ВПС в северо-восточной части Северной Атлантики в конце 2000-х годов.

ИЗМЕНЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ЛЬДА В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ ЗА ПЕРИОД С 2005 Г.

Тимофеева А.Б., Шаратунова М.В.

ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
tianna@aari.ru ;

Ключевые слова: толщина льда, припай, полярные станции, ледовые условия, море Лаптевых.

Толщина морского льда является важной характеристикой, а ее колебания – чувствительным индикатором изменения климата. Большинство исследований толщины морского льда базируется на численном моделировании и информации полученной с помощью спутниковой радиолокационной альтиметрии. В связи с этим измерения толщины на полярных станциях представляют существенный интерес, поскольку имеют длинный ряд контактных наблюдений. В настоящем исследовании проанализированы ряды данных по толщине припайного льда сети наземных полярных станций Росгидромета в море Лаптевых (о. Котельный, б. Тикси, м. Челюскин, пр. Санникова, Кигилях) с конца 1930-х – начала 1940-х гг. по настоящее время. В ходе анализа выполнено сравнение значений характеристик за последний 15-летний период (2005–2020 гг.) с наблюдениями, произведенными до 2004 г., и выявлены изменения, соответствующие новым климатическим условиям.

Межгодовая изменчивость толщины на момент максимального нарастания (максимальной толщины льда) по станциям характеризуется значительным размахом колебаний (55–92 см) и, кроме станции о. Котельный, выраженным отрицательным трендом. Средние толщины на момент максимального нарастания колеблются в пределах 209–221 см. в восточной части моря, 192 см на м. Челюскин в западной части. За последние 15 лет они уменьшились на всех станциях на 1–11 % (6 % в среднем по морю) по сравнению с предыдущим периодом. Наименьшие изменения выявлены на станции о. Котельный (-3 см), наибольшие на станции м. Челюскин (-21 см). Все абсолютные максимумы толщины льда

по станциям за полный ряд наблюдений были зафиксированы в период до 2005 г., в то время как абсолютные минимумы толщины льда зафиксированы в последние 15 лет.

В ходе анализа подекадных значений толщины льда выявлено, что процесс нарастания льда стал происходить значительно медленнее, переход из одной возрастной градации льда в другую наблюдается на 1–2 декады позднее. Только на станции о. Котельный к концу мая толщина льда приближается к среднемноголетним значениям. Наиболее значительные изменения на большинстве станций наблюдаются в начале периода нарастания и уменьшаются, начиная с января. Наибольшие изменения в течение всего зимнего сезона показывает станция м. Челюскин.

Выявлено уменьшение среднесезонной (средней за ноябрь-май) толщины льда по станциям. Этот показатель представляется более информативным, чем максимальная толщина льда для оценки изменений, поскольку он компилирует внутри себя и максимальные значения, и более медленное нарастание льда. При осреднении по всем станциям выявлено снижение среднесезонной толщины льда на 10 % за последние 15 лет.

ЛЕДОВИТОСТЬ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД

Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д., Басюк Е.О., Хен Г.В., Матюшенко Л.Ю.

ТИНРО, г. Владивосток, Россия
elena.ustinova@tinro-center.ru

Ключевые слова: ледовитость, дальневосточные моря, аномалии, тренд, спектры.

Оценка современного состояния ледяного покрова дальневосточных морей и последних изменений ледовитости выполнена на основе пополняемой в ТИНРО климатологической базы данных ежедекадной ледовитости дальневосточных морей. К настоящему времени длина временных рядов накопленных наблюдений составляет 64 года (1957–2020 гг.) для Охотского моря и

61 год (1960–2020 гг.) для Берингова и Японского (Татарский пролив) морей. Среднезимняя ледовитость рассчитывалась нами как среднее за январь-апрель. Благодаря опубликованным А.Н. Крындиным (1964) данным с 1929 по 1956 г. сформирован более длительный (1929–2020 г.) временной ряд ледовитости в марте – месяце максимального сезонного развития ледяного покрова в Охотском море.

Тенденции многолетнего хода ледовитости дальневосточных характеризуются следующими особенностями. Общий линейный тренд на снижение среднезимней ледовитости для исторического ряда наблюдений статистически значим (на уровне доверительной вероятности > 99 %) только в Охотском море: среднезимняя ледовитость уменьшалась со скоростью 3,1 % / 10 лет в период 1957–2020 гг. Для периода 1929–2020 гг. тренд ледовитости в марте составил 1,8 % за десятилетие. Многолетний сглаженный ход ледовитости именно в Охотском море лучше всего связан с многолетней тенденцией в ходе температуры воздуха северного полушария. В Беринговом море и Татарском проливе тренды статистически незначимыми.

Однако в последние годы наблюдались существенные изменения ледяного покрова в Беринговом море. Здесь произошло резкое снижение ледовитости после суровой зимы 2011/2012 г. до нового исторического абсолютного среднезимнего минимума в 2018 г. – 13,8 %. Абсолютные минимумы ледовитости были перекрыты в каждом из месяцев зимы 2017/18 г. Экстремально малоледовитые условия сформировались на фоне тенденции к потеплению, наблюдаемой в Беринговом море с 2014 г., однако 2018 год был исключительным даже на этом фоне, что проявилось и в других гидрометеорологических показателях (Basyuk, Zuenko, 2020).

В Охотском море, начиная с 2004 г., ледовитость остается значительно ниже нормы. Такого длительного периода малоледовитых зим ранее не отмечалось. Внутри этого периода тенденции к снижению ледовитости не наблюдается, и отмечается повышение вклада квазидвухлетних колебаний. Абсолютный минимум среднезимней ледовитости был обновлен в 2015 г., теперь он составляет 34,8 %. Абсолютного минимума за 92-летний период наблюдений достигла и ледовитость в марте 2015 г.

В отличие от Берингова и Охотского морей, в Японском море (Татарский пролив) не был обновлен исторический минимум ледовитости в современный период, напротив, в отдельные годы отмечались значения выше нормы.

Сроки наступления максимума ледовитости в сезонном ходе наиболее изменчивы среди всех дальневосточных морей в Беринговом море, а наиболее устойчивы – в Охотском море. В экстремальные годы знак аномалий весьма устойчив, он сохраняется, как правило, с января по апрель. Однако для некоторых экстремальных лет характерна высокая внутрисезонная неравномерность в ходе ледовых процессов.

Спектры ледовитости характеризуются наличием максимумов преимущественно на низких частотах. Вклад квазипериодических составляющих в общую дисперсию ледовитости составляет от 30 % для Татарского пролива до 75 % для Охотского моря.

МОДЕЛЬ ПРИДОННЫХ ПЛОТНОСТНЫХ ПОТОКОВ С УЧЕТОМ ПРИДОННОГО ПАМПИНГА

Царев В.А., Подрезова Н.А.

РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия
tsarev@rshu.ru

Ключевые слова: плотностной поток, пампинг, экмановский поток, баротропная циркуляция, бароклинная циркуляция, гидродинамическая модель, вертикальные течения.

При движении придонного плотностного потока основная его масса движется преимущественно геострофически вдоль изобат. Вместе с тем на его поведение оказывают важное влияние процессы, протекающие в придонном экмановском слое. Так, под влиянием придонного трения формируется экмановский перенос с составляющей, направленной вдоль наклона дна. Это вызывает перемещение воды в плотностном потоке с правого края к левому, что в итоге реализуется в смещении плотностного потока вдоль наклона дна. Неоднородность в распределении толщины плотностного потока по ширине также вызывает формирование

экмановских потоков в направлении к участкам с меньшей толщиной. В частности, от центра к краям, что приводит к растеканию потока по ширине и уменьшению его толщины. Дивергенция придонных экмановских потоков на правой боковой границе плотностного потока и дивергенция на левой границе вызывают формирование вертикальных течений, которые распространяются к поверхности и вызывают формирование возмущения уровня моря. Это приводит к процессам приспособления, результатом чего является формирование возмущения уровня с наклоном вправо по движению потока и баротропной составляющей скорости с направлением противоположным направлению движения плотностного потока. Таким образом, в модели придонных плотностных потоков целесообразно учитывать процессы формирования вертикальных течений, возникающих в результате дивергенции придонных экмановских потоков (придонного памнинга). Формирующиеся баротропные течения обычно направлены противоположно плотностному потоку и таким образом уменьшают скорость его распространения. Кроме этого, важно также включить в модель связанные с пампингом процессы трансформации поля плотности в пределах плотностного потока, а также процессы формирования возмущения уровня и баротропных течений.

Представлена модель придонных плотностных потоков, в которой по возможности учитываются отмеченные особенности. В модели включен блок расчета придонных вертикальных течений, формирующихся, под влиянием дивергенции (конвергенции) придонных экмановских течений (придонного пампинга). Так как из-за относительно небольшой толщины придонного экмановского слоя непосредственное описание придонных экмановских течений затруднительно, рассчитываются придонные экмановские потоки, которые находятся через придонное трение, Последнее находится с помощью соотношения Акерблома через градиенты придонного давления. Скорости течений во всей толще моря, включая придонный слой, описываются с помощью трехмерных уравнений движения в гидростатическом приближении. Изменение трехмерного поля солености описывается с помощью трехмерных уравнений переноса соли, в котором учитывается вертикальная адвекция, связанная с влиянием придонного пампинга, а также горизонтальная адвекция, обусловленная баротропными течениями, возникающими в результате процессов

приспособления к придонному пампингу. Процессы приспособления к придонному пампингу описываются с помощью проинтегрированных по глубине уравнений движения и неразрывности, где в качестве источника возмущения используются формирующиеся под влиянием придонного пампига скорости вертикальных течений.

Проведены расчеты распространения приодонного плотностного потока для модельной области с формой дна в виде симметричной воронки. По результатам расчетов показано, что на начальном этапе перемещение плотностного потока быстро достигает стационарной величины скорости Ноффа, зависящей от перепада плотности и наклона дна. С течением времени под влиянием процессов придонного пампинга происходит смещение потока по наклону дна. С течением времени в результате процессов приспособления к формирующиеся в придонном слое вертикальным течениям формируется возмущение уровня, вызывающие баротропные течения, направленные противоположно направлению распространения плотностного потока. При этом скорость распространения плотностного потока убывает. Баротропная составляющая градиента давления в придонном слое в области плотностного потока формирует экмановские потоки и связанные с ними вертикальные скорости противоположного знака по сравнению с аналогичными величинами, обусловленными бароклинной составляющей градиента давления.

ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРАЦИИ ВОЛН ПОЛЯРНЫМИ ЦИКЛОНАМИ

Чешм Сиахи В.[1], Кудрявцев В.Н.[1,2], Юровская М.В.[2,1]

[1]РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия
[2]МГИ, г. Севастополь, Россия
vahid_cheshmsiyahi@yahoo.com

Ключевые слова: генерация ветровых волн**,** полярные циклоны, параметрическая модель волн.

Приводятся результаты исследования особенностей генерации и распространения поверхностных волн полярными циклонами (ПЦ) в Баренцевом и Норвежском морях. Известно, что ПЦ могут генерировать аномально высокие волны (высотой до 10м),

сопоставимые с волнами в Тропических Циклонах (ТЦ). Развитие методов прогнозирования зарождения и распространения этих волн имеет исключительно важное значение для обеспечения безопасности мореплаванию и функционирования береговой инфраструктуры в Арктике.

Исследование проведено с использованием параметрической модели генерации и распространения ветровых волн, предложенной в работе Кудрявцев и др. (2021). В качестве входных параметров использовались поле ветра и маска морского льда по данным реанализа ERA5 (https://cds.climate.copernicus.eu/) и баз данных Бременского университета (https://seaice.uni-bremen.de/data/MultiYearIce/), соответственно. Система уравнений модели решается численно методом характеристик. Результаты расчетов сравниваются с данными измерений волн спутниковыми альтиметрами Sentinel-3 и Altika, которые доступны в (https://codarep.eumetsat.int/) и (https://aviso-data-center.cnes.fr/), соответственно.

Рассматриваются ПЦ различного типа: «спиралеобразные» и в виде «запятой» (Rojo и др., 2019). В отличии от ТЦ, ПЦ и их траектории крайне изменчивы в пространстве и времени, а время жизни – мало (от часов до суток). Несмотря на эти различия с ТЦ, в ПЦ так же как и в ТЦ реализуется механизм группового резонанса, приводящий к генерации аномально высоких волн. Однако, в случае ПЦ резонанс групповой скорости генерируемых волн появляется не за счет движения циклона, а за счет перемещения фронта. В этом случае волн с высокой энергией (при выполнения условий резонанса) появляются в области фронта и излучаются в виде зыби за его пределы. Пример модельных расчетов приведен на рисунке 1.

Делается вывод, что ПЦ в форме «запятой» играют главную роль в генерации экстремально высоких волн в Арктике.

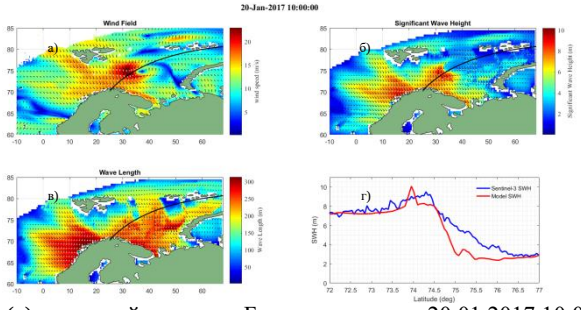

Рис. 1. (а) полярный циклон в Баренцевом море 20.01.2017 10:00:00, (б) поле высоты значимых волн, (в) поле длины волны и (г) сравнение высоты волн, полученных в модели, с высотой волны, измеренной альтиметром Sentinel-3A (SRAL).

1. Kudryavtsev V. N., Yurovskaya M. V., Chapron B. 2D parametric model for surface wave development in wind field varying in space and time // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2021. V. 126. doi: 10.1029/2020JC016916.

2. Kudryavtsev V. N., Yurovskaya M. V., Chapron B. Self-Similarity of Surface Wave Developments Under Tropical Cyclones // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2021. V. 126. doi: 10.1029/2020JC016915.

3. Rojo M., Claud C., Mallet P., Noer G., Carleton A.M., Vicomte M. Polar low tracks over the Nordic Seas: a 14-winter climatic analysis // Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography. 2015. V. 67, no. 1, doi: 10.3402/tellusa.v67.24660.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАТОПЛЕНИЯ ДЕЛЬТЫ ДОНА

Чикин А.Л.[1], Клещенков А.В.[1], Чикина Л.Г.[2]

[1]ЮНЦ РАН, г. Ростов-на Дону, Россия
[2]ЮФУ, г. Ростов-на Дону, Россия
chikin1956@gmail.com

Ключевые слова: уравнения мелкой воды, русловой поток, уравнение конвекции-диффузии, уравнения Сен-Венана, вычислительный эксперимент.

Устьевая область Дона простирается на 291 километр от условной линии, соединяющей Должанскую и Белосарайскую косы в Таганрогском заливе на западе, до станицы Раздорской на востоке. В ее пределах наблюдаются такие опасные и неблагоприятные процессы, как сгонно-нагонные колебания уровня, заиление рукавов и морских каналов, а также поступление морских трансформированных вод в рукава дельты Дона.

Расчет течений и уровня поверхности воды в Таганрогском заливе проводится с помощью математической модели, основанной на уравнениях мелкой воды и подробно описанной в [1].

Алгоритм изменения береговой линии за счет осушения или затопления области расчета довольно простой и основан на определении принадлежности расчетных ячеек к суше или к воде.

На акваториальной поверхности с использованием массива глубин исследуемого водоема строится равномерная по каждому направлению двухмерная сетка. В узлы плоской прямоугольной разностной сетки, покрывающей акваторию, заносятся значения глубин, а в узлы сетки, покрывающей предполагаемую область затопления, заносятся значения высот. Разностные ячейки представляют прямоугольник.

Учитывая значения глубин в узлах плоской сетки, определяются ячейки, находящиеся в воде или на суше. Логический массив, характеризующий тип ячеек («вода», «суша»), задает конфигурацию всей расчетной области и не изменяется в процессе расчета.

В процессе расчета некоторые ячейки с малой глубиной могут осушаться в силу сгонного явления и переходить в разряд «суша». Ячейки, перешедшие в разряд «суша», в силу сгонного явления могут возвращаться в разряд «вода». Также в разряд «вода» могут попадать ячейки «суша» в предполагаемой области затопления. Это происходит в том случае, если наблюдается повышение уровня воды и средняя по соседним ячейкам глубина не меньше устанавливаемого критического значения.

Во всех случаях изменения характера разностных ячеек необходимо проводить переиндексацию всей расчетной области.

Публикация подготовлена в рамках научного проекта РФФИ 18-05-80025 «Опасные явления». Расчеты выполнены на кластере ЦКП «Высокопроизводительные вычисления».

1. Чикин А.Л., Чикина Л.Г. Двухслойная модель переноса вещества в водоемах с большой неоднородностью глубин // Океанология. 2020. Т. 60. № 4. С. 507–514 DOI: 10.31857/S0030157420040048

МЕТОД ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПОЛОЖЕНИЯ ГРАНИЦ ДРЕЙФУЮЩЕГО И СПЛОЧЕННОГО ЛЬДОВ В ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Шаратунова М.В., Иванов В.В., Тимофеева А.Б., Юлин А.В.

ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
mvsh@aari.ru

Ключевые слова: Восточно-Сибирское море, морской лёд, прогноз положения границ дрейфующих льдов, кромка льда в летний период.

В последние годы наблюдаются существенные изменения в ледовом режиме всех российских арктических морей, в том числе наиболее сложного в ледовом отношении Восточно-Сибирского моря. На трассе Северного морского пути (СМП) ледовые условия претерпевают изменения: в весенний период наблюдается более раннее начало таяния ледяного покрова, в летний период более интенсивно сокращается ледовитость и площади ледяных массивов, увеличивается продолжительность летней навигации, а в осенний период наблюдается смещение в позднюю сторону сроков начала устойчивого ледообразования. Такие изменения ледовых условий открывают возможность для ранней и более длительной летней навигации в восточном направлении. Актуальной проблемой становиться долгосрочное прогнозирование ледовых условий для планирования работ.

Проведен анализ сезонной и межгодовой изменчивости границ дрейфующих и сплоченных льдов в Восточно-Сибирском море в широтном направлении за период 1973–2020 гг. Для исследования использовались данные, подготавливаемые в ЦЛГМИ ААНИИ на основе компиляции данных ИСЗ, информации полярных станций и судовых наблюдений за ледовой обстановкой.

По всей протяженности средней кромки льда стандартное отклонение изменяется для Восточно-Сибирского моря в пределах от 60 до 110 миль. Разность в положении границ ледяного массива наиболее велика в сентябре, так в западной части моря она составляет 120–200 миль, в восточной 200–220 миль. Изменчивость положения кромки льда в западной части моря составляет 130–170 миль, в восточной 180–210 миль.

В годы с легкими ледовыми условиями дрейфующие льды могут отступать далеко на север и наблюдаться у северных границ морей или даже уходить с акватории моря. В годы с тяжелыми ледовыми условиями дрейфующие льды наблюдаются в непосредственной близости от судоходных трасс, представляя существенную угрозу для судоходства.

Зональное и преимущественное широтное положение границы дрейфующих и сплоченных льдов в летний период дает возможность учитывать перемещение границы льдов различной сплоченности по выбранным меридианам, а также позволяет разработать долгосрочный метод прогнозирования.

Реализация метода основана на физико-статистической модели учета положения границы дрейфующих льдов на створах с помощью автоматизированной прогностической системы АПС «Пегас», разработанной в ААНИИ. Она позволяет из совокупности рядов исходных гидрометеорологических элементов выбрать наиболее информативные показатели (с наиболее высоким коэффициентом корреляции), на основе которых рассчитываются обобщенные показатели, являющиеся линейными комбинациями от исходных данных.

Прогнозы положения границы дрейфующих и сплоченных льдов рассчитываются в третьей декаде июля на август и в третьей декаде августа на сентябрь. Технология расчета прогнозов позволяет разрабатывать прогнозы на 30 суток с любой декады летнего периода.

Основными предикторами служат среднемесячные поля атмосферного давления в период с января по июль, среднемесячные значения температуры воздуха по району по данным полярных станций, положение кромки дрейфующих льдов и границы сплоченных льдов на момент составления прогноза.

Методика характеризуется хорошей оправдываемостью около 80 % и эффективностью по сравнению с прогнозами по климатической норме 22 % и инерционным прогнозом 12 %.

В 2019 г. метод долгосрочного прогноза положения границы дрейфующего и сплоченного льдов в летний период в Восточно-Сибирском море был рекомендован в качестве основного по решению ЦМКП (Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам).

ЛИНЕЙНЫЙ И НЕЛИНЕЙНЫЙ РЕЖИМЫ БРИЗОВОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДВУМЕРНОГО ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Шокуров М.В., Краевская Н.Ю.

МГИ, г. Севастополь, Россия
shokurov.m@gmail.com

Ключевые слова: бризовая циркуляция, внутренние инерционно-гравитационные волны, линейная теория, двумерное численное моделирование, теория подобия.

Бризовая циркуляция – распространенное явление вблизи берегов водоемов. Для исследования бризовой циркуляции используются теория, численное моделирование, лабораторные эксперименты и натурные наблюдения.

Среди теоретических методов выделяют линейную теорию, нелинейную теорию для некоторых точных решений, теорию подобия. Так же часто для получения теоретических результатов используются идеализированные двумерные модели с упрощенным представлением физических процессов.

В рамках линейного подхода бриз представляет внутреннюю инерционно-гравитационную волну, этот результат был получен аналитически и проверен с использованием численного моделирования.

При учете нелинейных слагаемых получение аналитического решения является сложной задачей, поэтому для решения системы нелинейных уравнений используются теория подобия и/или упрощенные двумерные в вертикальной плоскости модели.

Целью работы являлось описание структуры и динамики бризовой циркуляции при переходе из линейного в нелинейный режим.

Для исследования использовались две двумерные численные модели без учета и с учетом сжимаемости атмосферы.

В качестве постановки задачи рассматривалась неподвижная стратифицированная атмосфера. В исследуемой области выделялись области моря и суши. Вблизи поверхности над сушей задавался источник тепла, с известным распределением плавучести

по вертикали, интенсивность источника менялась с суточным периодом по времени. Рассматривался суточный ход бризовой циркуляции с учетом влияния вращения Земли.

Было проведено несколько экспериментов с разными значениями максимальной амплитуды источника тепла.

Для описания интенсивности бриза использовался безразмерный параметр, который определяется интенсивностью источника тепла, высотой атмосферного пограничного слоя, частотой плавучести и суточной частотой бриза.

Результаты моделирования показали, что по мере увеличения амплитуды источника тепла структура бризовой циркуляции изменяется. При малых значениях структура бриза аналогична структуре, полученной в аналитической линейной теории, повышение амплитуды источника приводит к формированию особенностей, которые возникают из-за увеличения влияния нелинейных членов. К таким особенностям относятся бризовое гравитационное течение, внутренние волны, которые генерируются над продвигающемся по поверхности гравитационным течением. Появляются различия в ночном и дневном бризе и в структуре бриза над сушей и морем, которые в линейной теории не проявляются.

Работа выполнена в рамках темы Морского гидрофизического института № 0555-2021-0002 (шифр «Взаимодействие океана и атмосферы»).

ПРИЧИНЫ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ ГЛУБОКОЙ КОНВЕКЦИИ В МОРЕ ИРМИНГЕРА

Яковлева Д.А.[1], Башмачников И.Л.[1,2,3]

[1]СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
[2]Фонд «Нансен-центр», г. Санкт-Петербург, Россия
[3]МГИ, г. Севастополь, Россия
d.yakovleva@spbu.ru

Ключевые слова: море Ирмингера, глубокая конвекция, тепловой баланс.

Почти половина глубинных вод Атлантической меридиональной океанической циркуляции, образуется в море Ирмингера, в том числе, в результате глубокой конвекции. Исследование связи глубокой конвекции с потоками тепла и соли, формирующими тепловой и пресный баланс верхнего слоя моря Ирмингера, является целью данной работы.

Среднемесячные данные по температуре воды, солености и скоростям течений на разных глубинах верхнего 500-метрового слоя получены по массиву ARMOR-3D (0,25×0,25°). Ежедневные данные радиационного баланса, скрытого и явного потоков тепла получены из реанализа ERA-Interim (0,25×0,25˚). Тепловой баланс верхнего 500-м слоя рассчитывался как сумма всех потоков тепла, поступающих в море Ирмингера (среднее от апреля предыдущего года до марта текущего года, за период 1993–2016 гг.): океанических потоков тепла, радиационного баланса, теплообмена через поверхность океана и через нижнюю границу слоя. Глубина конвекции рассчитывалась по методу Духовского.

Результаты показали, что содержание пресной воды верхнего слоя моря Ирмингера отрицательно коррелирует с глубиной конвекции -0,48 (глубина конвекции имеет отрицательные значения; ось Y направлена вниз). Этот результат не представляется логичным, так как при увеличении потока пресной воды в приповерхностный слой глубина конвекции должна уменьшаться, а не увеличиваться. Здесь имеет место наведенная корреляция, т.к. содержание тепла и пресной воды верхнего слоя моря Ирмингера коррелированы отрицательно (-0,62).

Межгодовая изменчивость глубины конвекции моря Ирмингера определяется изменчивостью теплосодержания верхнего слоя моря (0,80). Положительные значения коэффициента корреляции свидетельствуют, что при уменьшении теплосодержания глубина конвекции увеличивается. В свою очередь, сумма всех потоков тепла в верхний слой моря имеют значимую положительную связь (0,80) с теплосодержанием. Высокая корреляция говорит о том, что все главные потоки тепла, определяющие межгодовую изменчивость теплосодержания, учтены в тепловом балансе. Наибольший вклад в изменчивость теплового баланса вносят океанические потоки тепла (конвергенция потоков тепла в

верхнем слое моря в среднем составляет 37 ТВт). Следующий по величине скрытый поток тепла в среднем составляет -11 ТВт.

Межгодовая изменчивость конвергенции океанических потоков тепла значимо коррелирует с глубиной конвекции (0,57), тогда как остальные потоки тепла имеют невысокие корреляции с глубиной конвекции. Это говорит о том, что изменчивость океанических потоков тепла оказывает основное влияние на межгодовую изменчивость развития глубокой конвекции.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Санкт-Петербургского государственного университета № 75295423.

РОЛЬ МАНЫЧСКОГО ПРОЛИВА В РАЗВИТИИ БАССЕЙНОВ КАСПИЯ В НЕОПЛЕЙСТОЦЕНЕ

Янина Т.А.[1,2]

[1]МГУ, г. Москва, Россия
[2]ИАЭТ СО РАН, г. Новосибирск, Россия
didacna@mail.ru

Ключевые слова: Маныч, бакинский пролив, раннехазарская эпоха, гирканский пролив, карангатская ингрессия, хвалынский пролив.

Манычский пролив, периодически функционировавший между Каспием и Понтом, является уникальным событием палеогеографии региона. Согласно нашим исследованиям, в неоплейстоцене отмечается шесть эпох открытия пролива. Судя по положению и малакофаунистическому содержанию отложений Манычской долины, в раннем неоплейстоцене Манычский пролив открылся в максимум развития бакинской трансгрессии. Распространение в его осадках представителей позднебакинской фауны указывает на сброс каспийских вод по проливу в позднечаудинский бассейн Понта. Водный поток из Каспия был существенным и достаточно продолжительным, судя по его влиянию на фаунистический облик бассейна Понта.

В среднем неоплейстоцене открытие Манычского пролива происходило дважды. В строении пролива прослеживаются отложения с близким составом малакофауны, соответствующие двум стадиям раннехазарской и эвксинской трансгрессий. Судя по

строению отложений в Манычской депрессии, пролив был широким, водный поток устойчивым, действующим в течение длительного времени. Влияние каспийских вод на бассейны Эвксина было существенным, более значительным, чем в бакинско-чаудинскую эпоху.

В начале позднего неоплейстоцена в максимум карангатской трансгрессии в Манычской долине существовал ингрессионный залив, проникавший вплоть до водораздела с Каспием. Реконструированы два этапа ингрессии, во втором из них ингрессия увеличилась. По-видимому, одновременным более раннему этапу был залив позднехазарского моря, имевшего низкие отметки уровня. Второму этапу ингрессии отвечало развитие гирканской трансгрессии, образовавшей довольно глубокий залив в долине Восточного Маныча. В эпоху регрессии карангатского бассейна в пролив ингрессировали гирканские воды, с которыми в черноморскую котловину проникли свойственные этому бассейну моллюски. Водный поток из Каспия не был существенным, судя по его влиянию на фаунистический облик карангатского бассейна Понта.

Открытие пролива состоялось в раннехвалынскую эпоху, после достижения уровнем Каспия отметок около 50 м. Об этом свидетельствуют геоморфологическое строение Манычской депрессии, а также палеонтологическое содержание ее отложений. Согласно материалам наших исследований, отмечалось двухэтапное развитие пролива: эрозионный, о котором свидетельствуют ложбины стока и грядовый рельеф Манычской долины, а также абескунские хвалынские отложения; и аккумулятивный, отложивший в выработанной долине тонкие осадки между грядами, сформировавшие террасу на высоте около 22 м. Этот этап развития пролива датируется нами календарным возрастом 14,3–14,8 тыс. лет назад. Ископаемые сообщества моллюсков указывают на однонаправленную миграцию малакофауны из Каспия в новоэвксинский бассейн Понта.

В неоплейстоценовой истории Каспия Манычский пролив играл существенную роль. Наличием порога стока (в настоящее время его высота около 26 м) осуществлялся контроль уровня обширных трансгрессий. От масштаба сброса вод по Манычу зависело снижение уровня Каспия и сброс части солей в водоемы Понта. В голоцене пролив не функционировал.

Работа выполнена по проекту РНФ 21-18-00552.

МЕЗОМАСШТАБНЫЙ ЦИКЛОН 1–3 СЕНТЯБРЯ 2015 Г. В РАЙОНЕ НОВОСИБИРСКИХ ОСТРОВОВ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ И РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Яровая Д.А.

МГИ, г. Севастополь, Россия
darik777@mhi-ras.ru

Ключевые слова: мезомасштабный циклон, бароклинная неустойчивость, численное моделирование, эксперименты по чувствительности.

С помощью модели WRF, а также по спутниковым данным исследован интенсивный мезомасштабный циклон, который развился в начале сентября 2015 г. над свободным ото льда морем Лаптевых и впоследствии переместился, усиливаясь, на Восточно-Сибирское море.

При помощи численных экспериментов было показано, что взаимодействие циклона с подстилающей поверхностью, в частности потоки явного и скрытого тепла от поверхности моря, а также наличие/ отсутствие морского льда на Восточно-Сибирском море не играло существенной роли в усилении циклона. То есть взаимодействие море-атмосфера не было главным фактором усиления этого циклона.

Кроме того, по результатам эксперимента с отключением выделения скрытого тепла был сделан вывод, что основной причиной формирования теплого ядра стал именно перенос относительно теплого воздуха с суши на море и последующая его изоляция в центральной области приповерхностного циклона, а выделение скрытого тепла при конвекции играло второстепенную роль.

Было обнаружено, что основную роль в усилении циклонического вихря играла высотная положительная аномалия потенциальной завихренности (PV) и имело место взаимное усиление вы-

сотного и приповерхностного циклонического вихрей. По-видимому, довольно продолжительное существование этого циклона после выхода на лед также объясняется влиянием высотной аномалии PV, перемещавшейся синхронно вместе с ним. Усиление циклона после выхода на море просто совпало по времени с началом взаимодействия высотной положительной аномалии PV с приповерхностной бароклинной зоной.

Среди арктических циклонов, возникающих в высоких широтах, выделяют группу полярных мезомасштабных циклонов (ПМЦ). Рассмотренный мезомасштабный приповерхностный циклон может быть отнесен к ПМЦ по следующим признакам: циклон достиг зрелой стадии над морем севернее полярного фронта, в его усилении существенную роль играла высотная аномалия потенциальной завихренности (механизм, который распространен для ПМЦ), в области циклона наблюдались довольно большие значения скорости приводного ветра. Однако следует учесть, что развитие циклона началось над сушей, в области арктического фронта, поэтому это образование, вообще говоря, относится к более широкой группе арктических циклонов.

На сегодняшний день исследовано слишком мало случаев ПМЦ над морями к востоку от Новой Земли, чтобы можно было сделать вывод о преобладающем механизме их усиления в процессе их перемещения над свободной ото льда поверхностью океана. Но уже рассмотренные случаи говорят о преобладающей роли бароклинной неустойчивости. Вероятно, в этом заключается основное отличие в механизме формирования теплого ядра для циклонов, возникающих над морем Лаптевых и Восточно-Сибирским морем, учитывая, что температурные контрасты между поверхностью моря и атмосферой, а следовательно, и потоки тепла от поверхности в этих районах меньше, чем в Северо-Европейском бассейне.

IMPACT OF TROPICAL CYCLONES FORMING OVER THE SOUTH CHINA SEA TO THE FAR EASTERN SEAS OF RUSSIA

Vlasova G.[1], Mau Dinh Le[2], Marchenko S.[1], Dung Thi Thuy Nguyen[2]

[1]ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия.
gavlasova@mail.ru
[2]VNIO, Nha Trang, Vietnam
ledinhmau.vnio@gmail.com

Key words: South China Sea, Far Eastern seas of Russia, atmospheric and hydrodynamic processes, tropical cyclones.

The state of the natural environment of the marginal seas of the northwestern part of the Pacific Ocean is largely determined by the interaction of synoptic and hydrophysical processes. Tropical cyclones (typhoons), originating in the tropical zone of the northwestern part of the Pacific Ocean or over the South China Sea, occupy a special place among synoptic processes. The main destructive effect of typhoons falls on the South-East Asia region. However, a significant number of its are directed towards the Russian Far East with the removal of a large amount of destructive energy. Tropical cyclones come to the Far Eastern seas not in the phase of maximum development, but in a transformed form (ex-tropical depression, ex-tropical storm, ex-typhoon); nevertheless, its carry catastrophic consequences for the Russian Far East. The Far East is the only region in the Russian Federation that is exposed to the effects of tropical cyclones both in "pure" form and, in most cases, after their regeneration. South China Sea plays a significant role overall process of the formation of tropical cyclones, especially in transit Pacific typhoons in the Far East.

The purpose of this work is to study the influence of tropical cyclones forming in the South China Sea on the hydrodynamic processes of the Russian Far Eastern seas.

As a result of the analysis of data obtained from available Internet resources (https://coast.noaa.gov/hurricanes/-USA; https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-

eg/RSMC_HP.htm-Japan), it was found that the number of tropical cyclones that came from outside or formed over the water area of the South China Sea was 851 for the period 1951–2019. The maximum number of tropical cyclones (21) was observed in 1964 and 1996, the minimum (3) – in 1958. On average, this area is characterized by the passage of 12 tropical cyclones per year. The largest number of tropical cyclones occurs in the summer-autumn season, the smallest in winter. The maximum number of tropical cyclones (146) occurred in September.

The preliminary results of the study showed that a significant part of the tropical cyclones formed in Southeast Asia reach the water area of the Far Eastern seas.

The need to study synoptic and hydrodynamic processes in aggregate as phenomena of a trans-regional scale is obvious, since all this affects not only the hydrodynamics of the Russian Far Eastern seas, but also the climate and weather of the entire Far East.

.

СЕКЦИЯ 2
«МОРСКИЕ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ: МЕТОДЫ, СРЕДСТВА И РЕЗУЛЬТАТЫ»

ЭВОЛЮЦИЯ ПРИБРЕЖНЫХ АПВЕЛЛИНГОВ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ДИНАМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ

Алескерова А.А., Кубряков А.А., Станичный С.В., Мизюк А.И.

МГИ, г. Севастополь, Россия
Annete08@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, MODIS, модель NEMO, апвеллинг.

Прибрежные Экмановские апвеллинги, вызываемые вдольбереговой компонентой ветра являются типичным процессом в прибрежных акваториях. В силу замкнутости береговой линии Черного моря, ветер любого направления является благоприятным и вызывает подъем холодной воды из глубины моря в той или иной части водного бассейна. Апвеллинг играет важную роль в процессах вертикального и горизонтального обмена физических, химических и биологических компонент морской экосистемы. Исследованию апвеллингов в Черном море посвящено ограниченное количество работ. Некоторые из них демонстрируют возможности наблюдения апвеллингов из космоса и их связь с динамическими процессами.

В работе использовался массив данных о яркости восходящего излучения со спутника Landsat и сканера MODIS с 2003 по 2019 гг. Использовалась также региональная конфигурация модели NEMO с высоким пространственным разрешением, позволяющая воспроизводить мезо- и субмезомасштабную изменчивость гидрофизических полей в морях каскада. Модель описывает динамику Мраморного, Черного и Азовского морей с разрешением около 1,157 км в меридиональном направлении, а вдоль параллели разрешение меняется равномерно от 1100 на севере до 1230 м на юге.

В данном работе было проведено сопоставление спутниковых данных MODIS с 1 км пространственным разрешением и данных, рассчитанных по модели NEMO. Получено качественное соответствие этих данных по времени и пространству, т. е. совпадает время возникновения апвеллингов и направление их распространения. Проведенный численный эксперимент позволил воспроизвести особенности вертикальной структуры вод бассейна для периода 2008–2009 гг.

На примере апвеллингов у берегов Турции и у Крымского побережья была проанализирована их эволюция. Получена структура данных апвеллингов, показано, что на периферии апвеллингов возникают филаменты и субмезомасштабные вихри, которые в свои ядра захватывают холодные и обогащенные биогенами апвеллинговые воды, и переносят их от береговой линии в глубоководную часть моря. Оценен вклад данных вихрей на перенос апвеллинговых вод от берега. Получено вертикальное распределение температуры в районе апвеллинга по модельным данным. Показано, что холодные воды при апвеллинге у ЮБК вовлекаются с глубин 15–20 м, где значение температуры составляет около 14–17 °С. В данный период значения температуры на поверхности около 22–23 °С.

Работа выполнена по гранту РНФ 22-27-00812, РФФИ 19-05-00479 и гос. заданию 0555-2021-0006.

ВИХРИ В ЕВРОПЕЙСКОМ СЕКТОРЕ АРКТИКИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД 2007 ГОДА

Артамонова А.В., Козлов И.Е.

МГИ, г. Севастополь
artamonovaocean@gmail.com

Ключевые слова: океанские вихри, субмезомасштабные вихри, спутниковые радиолокационные изображения, Норвежское море, Гренландское море.

В данном исследовании для анализа вихревой динамики на акватории Норвежского и Гренландского морей использовались радиолокационные изображения Envisat ASAR с мая по октябрь 2007 г.

Всего в ходе исследования проанализировано более 700 радиолокационных изображений и идентифицировано более 3000 поверхностных проявлений вихрей, половина из которых были антициклоническими.

Установлено, что диаметры вихревых структур в основном не превышали 15 км, а средний диаметр и антициклонических, и циклонических вихрей составил порядка 14 км. Максимальный зарегистрированный диаметр составил 154 км. Вихри наблюдались над глубинами от 25 до 3800 м. Наибольшее количество зарегистрировано над глубинами не более 500 м, но также большое количество вихрей зарегистрировано над глубинами более 1000 м. Вихри чаще всего встречались в районе плато Воринг, Юго-Западнее Шпицбергена, в Датском проливе, а также в районах Норвежской и Лофотенской котловин. Наиболее крупные вихри зарегистрированы в районе хребта Мона и Норвежской котловины.

Отличительной особенностью поверхностных проявлений вихрей в исследуемом районе в теплый период 2007 года является примерно одинаковое количество зарегистрированных циклонических и антициклонических вихрей, что соответствует результатам альтиметрических наблюдений в этом районе, однако существенно отличается от результатов, приведенных в схожих исследованиях для других морей Арктики.

Исследование выполнено при финансовой поддержке грантов РФФИ №18-35-20078 мол_а_вед, РНФ 21-17-00278 и государственного задания 0555-2021-0003.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОДНЫХ МАСС БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Архипкин В.С., Мухаметов С.С.

МГУ, г. Москва, Россия
puffin@bk.ru

Ключевые слова: объемный T,S-анализ, водные массы, Баренцево море.

В настоящее время по водным массам Баренцева моря опубликовано большое количество статей. В большинстве работ в Баренцевом море выделяют 4 основные водные массы: атлантическая с повышенными соленостью и температурой (ASW), арктическая с отрицательной температурой и пониженной соленостью (ArSW), баренцевоморские воды с низкой температурой и высокой соленостью (BSW) и мурманская прибрежная водная масса (MCSW). Однако до сих пор детальных количественных оценок этих водных масс практически не давалось. Для получения этих оценок необходимо проводить объемный T,S-анализ водных масс.

Для проведения объемного T,S-анализа вод Баренцева моря были взяты сезонные данные температуры и солености за разные десятилетия (1955–1964, 1965–1974, 1975–1984, 1985–1994, 1995–2004, 2005–2015) из атласа World Ocean Atlas 2018 на сетке с шагом 0,25°. При расчетах вся толща вод разбивалась по вертикали на слои толщиной 1 м. Для восстановления температуры и солености в этих слоях использовалась монотонная кубическая интерполяция Эрмита, позволяющая сохранять монотонность исходных данных. Для расчетов были выбраны следующие интервалы по температуре и солености: от температуры замерзания (~-1,9 °C) до 10 °C и от 30 до 35,4 епс соответственно, при этом размеры T,S - классов задавались 0,2 °C по температуре и 0,05 епс по солености.

Объемный T,S-анализ дал возможность оценить объемы воды в Баренцевом море по разным градациям температуры и солености в разные десятилетия и разные сезоны. Выявлено, что объем вод с температурой -1,9÷1,5 °C занимает 78 % зимой и 58 % летом. Что касается солености, то здесь выделяется резкий пик в диапазоне 34,85÷34,95 епс. На этот диапазон приходится 31 % от общего объема вод Баренцева моря летом и 24 % зимой.

Сравнение распределений объемов вод по градациям температуры за десятилетия 1955–1964 и 2005–2015 показало, что в летний период произошло значительное смещение моды распределения объемов в сторону повышения температуры на 0,6 °C. По солености отличия в распределении объемов между этими десятилетиями менее значительны, однако отмечается увеличение объемов вод с соленостью большей 35,05 епс, как зимой, так и летом.

Построенные объемные, изопикнические T,S-диаграммы позволили выявить зимой три моды в следующих T,S-классах: -1,9÷-1,7 °C, 34,45÷34,5 епс; -0,5÷-0,3 °C, 34,8÷34,85 епс; 2,1÷2,3 °C, 35,0÷35,05 епс. Эти моды относятся к арктической, баренцевоморской и атлантической водным массам соответственно. Летом арктическая водная масса практически исчезает, а T,S - индекс моды баренцевоморской воды приобретает значение -0.6 °C, 34,9 епс.

Сравнение объемов водных масс вышеуказанных десятилетий показал, что объемы вод с температурой ниже 0 °C и соленостью меньшей 35 епс в последнем десятилетии значительно уменьшаются.

Проведенный пространственно-временной анализ распределения объемов атлантической и баренцевоморской водных масс выявил значительную их изменчивость по сезонам. Особенно это касается баренцевоморской водной массы - летом имеется лишь небольшая область со 100 % ее содержанием (~ 77° с. ш., 54° в. д.) и большая акватория с 70–80 % содержанием, то в зимний период она практически полностью занимает обширные территории с 100 % содержанием, начиная от 70° до 77° с. ш. и от примерно 36° в. д. до Новой Земли.

Также, получено, что в настоящее время происходит увеличение объема атлантической водной массы в Баренцево море с одновременным уменьшением объема баренцевоморской.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ №19-17-00110.

СУБМЕЗОМАСШТАБНЫЕ ВИХРИ В ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЯХ РФ В АВГУСТЕ 2020 Г. ПО РАДИОЛОКАЦИОННЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Атаджанова О.А.[1], Коник А.А.[1,2], Зимин А.В.[1,2], Данилов И.А.[3], Джамалова А.Г.[3], Завада Д.Е.[3]

[1]ИО РАН, г. Москва, Россия
[2]СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
[3]РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия
oksana.atadzhanova@gmail.com

Ключевые слова: субмезомасштабные вихри, радиолокация, Тихий океан.

Работа посвящена выявлению особенностей пространственного распределения поверхностных проявлений субмезомасштабных вихрей на акватории Берингова и Охотского морей, а также в курило-камчатском регионе Тихого океана.

Проводился анализ 464 радиолокационных изображений (РЛИ) за август 2020 г. Sentinel-1 в режимах съемки EW и IW. Регистрировались положение центра вихря, диаметр и тип закрутки (циклонический/антициклонический).

Всего было зарегистрировано свыше 1300 вихревых проявлений (Берингово море – 887, Охотское море – 261, курило-камчатский регион – 191), из которых 16 % вихрей имели антициклонический тип. Средний диаметр зарегистрированных структур составил около 2 км.

Чаще всего вихри отмечались в северной части Берингова моря (где наблюдалось наибольшее покрытие РЛИ) (до 3 вихрей на каждом снимке), в Камчатском заливе, вблизи порта Охотск.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0128-2021-0014.

НАБЛЮДЕНИЯ КОРОТКОПЕРИОДЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ЮЖНОМ ОКЕАНЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ РСА SENTINEL-1 A/B

Бакуева Я.И., Козлов И.Е.

МГИ, г. Севастополь
Yasya1egupova@gmail.com

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, спутниковая радиолокация морской поверхности, прикромочная ледовая зона, Южный океан.

Внутренние волны (ВВ) играют важную роль в горизонтальном и вертикальном турбулентном обмене, способствуют перемешиванию поверхностных и глубинных вод, переносу морских организмов, донных осадков и загрязнений. Это явление обычно встречается в устойчиво стратифицированных водах океанов, мо-

рей и крупных пресноводных водоёмов. Обычно ВВ имеют высоту 5–20 м, периоды от нескольких минут до нескольких часов, длины – от нескольких метров до километров, фазовую скорость – до десятков см в секунду, распространяются группами (цугами) с количеством волн до нескольких десятков. Спутниковые радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА) позволяют изучать ВВ по реакции характеристик взволнованной морской поверхности на их прохождение.

В настоящей работе представлены первые результаты наблюдения КВВ в Южном океане в акватории морей Уэддела, Лазарева, Содружества, Космонавтов и Скоша, полученные в ходе анализа массива спутниковых изображений SAR-C Sentinel-1 A/B за летний период в южном полушарии в момент максимального ледотаяния в этих районах. Всего было рассмотрено 862 радиолокационных изображений за февраль 2020 г. Выделены основные районы наблюдения КВВ и построена карта пространственного распространения внутренних волн. Ключевые районы наблюдения внутренних волн расположены над континентальным склоном к северо-востоку от Антарктического полуострова в акватории моря Скоша, а также, над склоном шельфа в акватории моря Содружества. Внутренние волны наблюдались в виде пакетов уединенных волн при средней ширине пакета около 15 км. Средняя длина волны в пакетах КВВ составила 7 км, максимальное значение – 13 км. Среднее наблюдаемое значение длины фронта и площади пакетов КВВ составили 45 км и 144 км^2 соответственно, но для самых крупных пакетов значения этих параметров достигают 97 км и 310 км^2. Преобладающим направлением распространения внутренних волн на акватории является северо-западное.

Анализ спутниковых данных позволил выделить различные по своим характеристикам пакеты КВВ и определить основные районы их распространения. Общее число случаев регистрации поверхностных проявлений КВВ в морях Уэддела, Лазарева и Космонавтов оказалось значительно меньшим, чем для акватории моря Скоша, что, по-видимому, объясняется большей амплитудой приливных течений, меньшей суммарной площадью открытых ото льда участков моря за период наблюдений, а также меньшей неоднородностью рельефа (все вышеуказанные моря

являются окраинными, в отличие от моря Скоша). Спутниковые РСА наблюдения ВВ могут играть ключевую роль по определению очагов интенсивного перемешивания и вертикального переноса тепла в Антарктике.

Исследование выполнено в рамках государственного задания 0555-2021-0003.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ КАБЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ОН-ЛАЙН МОНИТОРИНГА НА ПОЛИГОНЕ «ГЕЛЕНДЖИК»

Баранов В.И., Зацепин А.Г., Куклев С.Б., Очередник В.В., Машура В.В.

ИО РАН, г. Москва, Россия
baranovwlad@mail.ru
zatsepin@ocean.ru

Ключевые слова: Донная станция, он-лайн мониторинг, полигон, измерительная система.

Для мониторинга параметров морской среды в режиме реального времени в ИО РАН в 2016 г. разработана и внедрена многофункциональная система мониторинга подводной обстановки. Основа системы – это оптоволоконный кабель, проложенный по дну Черного моря в районе Голубой бухты. Система, за счет своей огромной пропускной способности (до 1 Гбод в секунду), имеет возможность подключения до 8-ми разных измерительных приборов и устройств. При необходимости количество подключаемых станций может быть увеличено. Приборы, подключенные к системе, имеют разное назначение и не зависят друг от друга. Они выполняют измерение различных параметров и передают данные в береговой центр. В береговом центре данные обрабатываются и передаются на хранение. Благодаря такому методу измерений мы имеем оперативную информацию о состоянии морской среды от дна до поверхности моря.

Оптоволоконный кабель обеспечивает передачу данных с различных приборов на дальнее расстояние на большой скорости. Благодаря огромной пропускной способности к системе можно подключить видеокамеру и акустическую станцию для измерения морского шума. На данный момент к системе подключались различные приборы (ADCP, цепочки термодатчиков, измерители морского шума, измеритель волнения, донная лебедка). Все они получали важную информацию о состоянии морской среды. Подключаемые приборы, независимо друг от друга, измеряли различные гидрофизические параметры морской среды (профили скорости течения, температуру воды, волнение).

При применении такой станции стали возможными следующие перспективы:

– в режиме реального времени регистрация измеряемых параметров и оценка состояния водной среды;

– возможность не только наблюдать, но оперативно управлять ходом проведения эксперимента в зависимости от изменяющихся условий на море;

– непрерывные, сколь угодно длинные ряды наблюдений с дискретностью частоты опроса датчиков, инструментально заложенных в приборных комплексах (в случае автономных измерительных комплексов длительность проведения эксперимента и дискретность данных ограничена емкостью элементов питания);

– при подключении берегового сервера к сети интернет, возможность получать данные и управлять экспериментом практически в любой точке Земного шара, – минимизация затрат на обслуживание, связанных с использованием флота (как в случае с автономными измерительными комплексами), в том числе связанными с необходимостью периодической замены элементов питания;

– при использовании оптоволоконной высокоскоростной линии связи возможность подключения большого количества (до 8-ми) различных измерительных комплексов;

– простота в обслуживании и возможность в любой момент изменения состава и структуры, подключенных к высокоскоростной линии связи приборных комплексов;

– возможность ассимиляции данных в модели оперативного прогноза состояния морской среды;

– возможность оперативного сбора и передачи информации о состоянии водной среды заинтересованным организациям (Гидрометеослужба, МЧС, флот и пр.).

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ПРЕСНОВОДНЫХ РЕСУРСОВ И МОРСКИХ АКВАТОРИЙ СЕВАСТОПОЛЯ

Безгин А.А., Лунев Е.Г., Мотыжев С.В., Воликов М.С., Гимпилевич Ю.Б., Редькина Е.А., Лукьянчиков А.В.

СевГУ, г. Севастополь, Россия
bezghinaa@gmail.com

Ключевые слова: измеритель уровня воды, пресноводный источник, гидростатическое давление, метеостанция, волнение, геопортал.

Разработана концепция и введена в действие интеллектуальная система мониторинга пресноводных объектов и прибрежных акваторий г. Севастополя. На сегодня система включает три буя измерителя уровня воды, которые установлены на основных водоемах источниках водоснабжения города, метеостанции и якорного измерительного буя с функцией оценки параметров волнения. Установка измерителей уровня воды выполненных на основе датчиков гидростатического давления, обеспечивающих погрешность измерений уровня не более ±1 см, позволила создать и ввести в действие систему адаптивного оперативного контроля запасов воды в водохранилище и оптимизировать выбор источников водоснабжения г. Севастополя.

Измерительный буй производит измерения температуры воды в поверхностном и подповерхностном слоях и прозрачность воды. На основе измерений датчика гидростатического давления производится расчет амплитуды и периода поверхностного волнения. Установленная на побережье метеостанция позволяет производить измерения температуры и влажности воздуха, скорости и направления ветра, атмосферного давления, количества осадков. Установив сеть таких измерительных комплексов в разных точках вдоль побережья, можно получать отправную картину экологического состояния прибрежных акваторий.

Для приема информации разработан сервер, позволяющий производить прием, обработку и архивирование информации.

Для наглядного отображения данных разработан геопортал, позволяющий отобрать информацию о местонахождении измерительных устройств и измеренную информацию в табличном виде. На сервере предусмотрена возможность подключения математических моделей для изменения пространственно-временной изменчивости измерений. Так, например, в случае увеличения скорости ветра более 4 м/с, система отправляет команду измерительному бую на переключение со стандартного периода измерения 1 раз в час на критический 4 раза в час. И, наоборот, при снижении скорости ветра бую отправляется команда на переход в стандартный режим. Это позволяет более качественно производить измерения локальной быстропротекающей изменчивости параметров окружающей среды и обеспечивает существенно лучшее качество распределенного мониторинга динамических процессов в морской среде.

Разработанная система является масштабируемой и позволяет подключать к ней к ней измерительные платформы различных типов.

ВАЛИДАЦИЯ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СПЕКТРОВ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН ПО СПУТНИКОВЫМ И КОНТАКТНЫМ ДАННЫМ

Бондур В.Г.[1], Дулов В.А.[2], Мурынин А.Б.[1]

[1]НИИ «АЭРОКОСМОС», г. Москва, Россия
[2]МГИ, г. Севастополь, Россия
vgbondur@aerocosmos.info
dulov1952@gmail.com
amurynin@bk.ru

Ключевые слова: дистанционное зондирование, аэрокосмические изображения, спектры волнения, поверхностное волнение, обработка изображений.

Восстановление спектров ветровых волн по спутниковым оптическим изображениям морской поверхности сверхвысокого

разрешения (~1 м) имеет очевидную практическую и научную ценность. Хотя подходы к восстановлению спектров описаны в литературе и применены в единичных тематических исследованиях, проблема рутинного получения спектров из спутниковых изображений остается открытой. Реальные продвижения в ней могут быть достигнуты, в частности, в результате целенаправленных подспутниковых экспериментов с прямыми измерениями спектров в натурных условиях.

Подспутниковые эксперименты были проведены с Черноморской исследовательской платформы МГИ РАН (пос. Кацивели). Съемка акватории, окружающей платформу, была выполнена со спутника GEOEYE (панхром, разрешение 0,5 м), Измерение ветровых волн осуществлялось решеткой из шести струнных волнографов. Пространственный спектр волн был оценен с помощью прямого метода Марка Донелана, основанного на вейвлет-анализе волнографических записей (метод WDM). Кроме того для корректной интерпретации результатов были выполнены измерения фоновых характеристик морской среды, включая непрерывные записи с платформы скорости и направления ветра, а также стереофотосъемка морской поверхности для оценки спектров коротких ветровых волн. В данном сообщении представлены результаты восстановления спектров ветровых волн по спутниковым изображениям, выполненного различными методами, в сравнении с непосредственно измеренными спектрами.

Работа выполнена в НИИ «АЭРОКОСМОС» при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-55-80021) и в рамках госзадания МГИ РАН № 0555-2021-0005 (Прибрежные исследования).

ВЛИЯНИЕ РЕЧНОГО СТОКА НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ СТРУКТУРУ ВОД БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ

Букатов А.А., Павленко Е.А., Соловей Н.М.

МГИ, г. Севастополь, Россия
pavlenko.ea@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Арктика, Баренцево море, Карское море, частота Вяйсяля-Брента, вертикальная структура вод, сток рек, р. Печора, р. Обь, р. Енисей.

На основе данных реанализа ORAP5 за период с 1979 по 2013 гг. с разрешением 0,25°×0,25° проведено исследование влияния стока рек Печора, Обь и Енисей на плотностную стратификацию вод Баренцева и Карского морей. Для исследования использовались среднемесячные значения максимума частоты Вяйсяля-Брента по глубине в каждом узле сетки за май – сентябрь каждого года.

Получено, что сток Печоры оказывает влияние на гидрологические условия юго-восточного района Баренцева моря и юго-западную часть Карского моря. Коэффициенты корреляции достигают значений 0,68 в мае и 0,76 в июне.

Области влияния стока Оби на плотностную стратификацию Карского моря находятся в юго-западном, северо-западном и центральном районах моря. Максимальные значения коэффициентов корреляции изменяются от 0,64 до 0,72 (с максимумом в июле). Статистически значимая корреляционная связь найдена также с суммарными объемами стока за предшествующие 3–6 месяцев, коэффициенты R3-6 достигают 0,7 в августе.

Величины коэффициентов корреляции между значениями максимума частоты Вяйсяля-Брента по глубине и суммарными объемам стока Енисея за предшествующие 6–9 месяцев достигают значимых положительных значений вблизи побережья полуострова Таймыр, что определяется «восточной» схемой распространения речных вод по акватории Карского моря. Максимальные величины коэффициентов корреляции достигают значений 0,56 в июне, 0,60 в июле.

ОСОБЕННОСТИ ЗАТОКОВ ЧЕРНОМОРСКИХ ВОД В АКВАТОРИЮ АЗОВСКОГО МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ И МОДЕЛЬНЫМ ДАННЫМ

Василенко Н.В., Медведева А.В., Кубряков А.А., Алескерова А.А., Станичный С.В., Мизюк А.И.

МГИ, г. Севастополь, Россия
nadinkot.nk@gmail.com

Ключевые слова: Азовское море, Черное море, Керченский пролив, спутниковые снимки, MODIS.

Азовское море – акватория внутреннего типа, для которой характерна относительно низкая соленость, выраженное влияние речного стока и интенсивное перемешивание вод.

Через Керченский пролив, соединяющий Азовское море с Черным, осуществляется непрерывный водообмен между этими акваториями, причем, в большем объеме и чаще наблюдается транспорт азовоморских вод в черноморский бассейн (преимущественно из-за разности в уровне морей). Однако при различных гидрометеорологических ситуациях регистрируется перенос черноморских вод в акваторию Азовского моря.

В данном исследовании затоки черноморских вод выявлялись по спутниковым данным MODIS Aqua, MSI Sentinel-2, OLI Landsat-8 за период 2003–2020 гг. Дополнительно привлекались данные модели NEMO, с пространственным разрешением 1,16 км, содержащие информацию о солености в Азовском и Черном морях за период 2008-2009 гг. Для анализа влияния ветровых условий на формирование черноморских затоков использовались данные NCEP с 6-часовой дискретностью и ERA-5 с часовой дискретностью.

Затоки Черноморских вод регулярно наблюдаются по спутниковым данным из-за разницы в гидрооптических характеристиках вод. Так, воды Черного моря содержат в себе меньшее количество взвешенного вещества, более низкую концентрацию хлорофилла-а, а также отличаются по температуре в зависимости от времени года. Чаще всего воды Черного моря распространяются в южной и юго-восточной части Азовского моря, преимущественно в осенне-зимний период времени.

Это также подтверждается данными модели NEMO о солености. Поступление более соленых вод Черного моря в акваторию Азовского моря чаще и в большем объеме наблюдаются в холодное время года. При рассмотрении профилей вертикальной изменчивости солености по модельным данным, было обнаружено, что как правило, более соленые воды проникают на глубине от 2 м и ниже, из-за чего случаи черноморских затоков обнаруживаются на поверхности по спутниковым данным на некотором расстоянии от Керченского пролива.

Одним из условий распространения Черноморских вод в акваторию Азовского моря является влияние интенсивных и устойчивых ветров южных направлений (со скоростью от 6–8 м/с). Также

воды Черного моря проникают в акваторию в результате нагона вод, обусловленный усилением Основного Черноморского течения в зимний период времени.

Исследование водообмена между Черным и Азовским морем осуществлялось в рамках Госзадания 0555-2021-0003. Исследование оптических свойств вод выполнено при поддержке гранта РФФИ 20-35-70034.

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НА СТАЦИОНАРНОЙ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЕ В 2011-2020 ГГ.

Гармашов А.В., Марюшкин Ю.А., Толокнов Ю.Н., Коровушкин А.И.

МГИ, г. Севастополь, РФ
ant.gar@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, волны, ветер, мониторинг.

С 2011 г. на стационарной океанографической платформе (СОП), расположенной в прибрежной зоне (600 м от берега) южного берега Крыма (пгт. Кацивели), проводился гидрометеорологический мониторинг (высоты волн, скорость и направление ветра, температура воздуха и моря, атмосферное давление, относительная влажность) с помощью разработанного в МГИ комплекса сбора гидрометеорологических данных (КСГД). было установлено оборудование для гидрометеорологического мониторинга. 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 (M63MP) располагался на высоте 21 метр над уровнем моря. В данной работе скорость ветра приводилась к стандартной высоте 10 м по формуле, предполагающей наличие логарифмического подслоя и нейтральной стратификации. За период наблюдений с 2011 г. по декабрь 2020 г. было получено более 340 тыс. осредненных измерений гидрометеорологических параметров.

Цель настоящей работы состояла в анализе измеренных на СОП ветроволновых характеристиках.

В результате анализа ветровых измерений на СОП, который с перерывами охватывает 10 лет, было получено, что наименьшие среднемесячные скорости ветра были в августе (4,7 м/с), а наибольшие – в декабре (7 м/с). В тоже время значимых различий в амплитудах максимальных скоростей ветра, зарегистрированных на СОП, между летними (26,6 м/с) и зимними (29,3 м/с) месяцами не наблюдается, при этом порывы ветра достигали значений 41,6 м/с.

Штилевые условия (до 0,1 м/с) наблюдались всего в 1,1 % всех случаев. Доминирующими были слабые ветра (0,1–5 м/с) на них выпадает 47 % всех ветров. Умеренные ветра (5–10 м/с) регистрировались в 31% ситуаций. На сильные ветра (10–15 м/с) приходилось 15,1 %. Крепкий ветер (15–20 м/с) был в 3,3 %. Штормовой ветер (20–25 м/с) был измерен в 0,3 % всех ветров. Сильный шторм (25–30 м/с) наблюдался в 0,04 %.

В течении года наибольшую (24 %) повторяемость имели ветра В направления, реже были регистрировались ветра СВ (18 %), З (17 %), С (12 %). Ветра ЮЗ и СЗ румбов наблюдались в 11 % и 6 % случаев соответственно. Реже всего встречались ветра ЮВ (3 %) и Ю (2 %) направлений. В группе слабых ветров наиболее часто (повторяемость примерно по 18 %) имели место ветра С, СВ, В направлений. В умеренных и сильных ветрах доминируют В (30–37 %), З (19–24 %) и СВ (19–20 %) направления, Ю и ЮВ румбы практически не были зарегистрированы (менее 1 %). Крепкий и штормовой ветер в районе СОП 38 % всех случаев был В направления, несколько реже (21 %) – СВ. Крепкий ветер Ю и ЮВ почти не наблюдался (менее 0,1 %). Ветра более 25 м/с были только В (60 %), СВ (25 %), СЗ (13 %) и С (2 %) направлений.

Получено, что слабое волнение (Hs =0,1–0,5 м) чаще всего наблюдалось в летние месяцы (74 %), легкое волнение (Hs =0,5–1,25 м) доминирует в зимние месяцы, повторяемость данного типа волнения составляет более 50–63 %, повторяемость умеренного волнения (Hs =1,25–2,5 м) составляет примерно 6 %, бурное волнение (Hs =2,5–4 м) было зарегистрировано только в январе и феврале (0,1 и 0,4 %). Максимальная высота волны, измеренная на СОП в 2011–2020 гг., составляла 6,4 м (декабрь).

Исследование выполнено в тем Государственного Задания № 0555-2021-0002, № 0555-2021-0005.

ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОФИЗИЧЕСКОГО РЕЖИМА АКВАТОРИИ СУХУМСКОЙ БУХТЫ

Гицба Я.В., Экба Я.А.

АГУ, г. Сухум, Абхазия
ИЭАНА, г. Сухум, Абхазия
Yana_akya@mail.ru

Ключевые слова: ветровой режим, волнение, скорость ветра, шторм, уровень моря, температура.

Наибольшей среднегодовой повторяемостью в акватории Сухумской бухты за 1999–2020 гг. обладают волны ЮЗ (32,9 %) направления, наименьшей – волны В направления (10,66 %). Наибольшей повторяемостью в зимний период обладают волны ЮВ направления (38,5 %), в летний период – волны ЮЗ направления (36,8 %). Из сравнительного анализа данных двух периодов 1999–2009 гг. и 2010-2020 гг. следует, что приоритет ЮЗ направления в теплый период времени сохраняется, однако в зимний период преобладающее Ю направление волнения моря меняется на ЮВ. Летом повсеместно преобладает волнение силой I-II балла, повторяемость которого составляет 85,4 %. Зимой повторяемость волн силой I-II балла уменьшается до 69,1 %. Волны высотой более одного метра (III-V баллов) чаще всего наблюдаются в зимний период, повторяемость их достигает в этот период 30,9 %, что очевидно связано с усилением атмосферной циркуляции в это время.

Наибольшая повторяемость штормовой активности силой III–V баллов наблюдается в феврале (29,9 %). С февраля повторяемость штормов постепенно уменьшаясь достигает минимального значения в мае (12,2 %). Наибольшая сезонная повторяемость штормовой активности наблюдается в зимний период и составляет 27,64%, наименьшая - в летний период (15,81 %). За последние 18 лет наблюдается тенденция снижения частоты штормов на

20,2 %. В 55,5 % случаев наибольшая повторяемость штормов силой от 3 до 5 баллов приходится на февраль, в 44,5 % случаев – на март, ноябрь и декабрь.

За последнее десятилетие наибольшая повторяемость ветров характерная для З направления сменилась на СВ направление. В летний сезон в акватории преобладает ветровое волнение З направления с повторяемостью 21,81 %, в зимний сезон – ветровое волнение СВ направления (27,11 %). Максимальная повторяемость ветров СВ горизонта, вызывающих нагонные процессы способствуют повышению уровня моря в холодный период времени.

Максимальное значение уровня моря в акватории Сухумской бухты наблюдается в июне и совпадает с максимальным значением расхода воды 300 $м^3$/сек. С июля, в связи с уменьшением притока речных вод и увеличением испарения с поверхности моря, расход воды начинает преобладать над приходом и уровень моря начинает понижаться вплоть до сентября (-2,30 см). Самый высокий коэффициент корреляции между суммарным расходом воды и уровнем морем обнаружен в период с апреля по октябрь r=0,92. В зимний период корреляционная связь между параметрами не обнаруживается: в зимний период большее влияние на уровень моря оказывает нагонное явление.

На протяжении наблюдаемого периода (1994–2020 гг.) максимальные среднегодовые значения температуры воздуха (18,6 °С) и воды (18,6 °С) наблюдались в 2010 г. и 2018 г. соответственно. В 2011 г. произошло существенное снижение среднегодовой температуры воды на 1,9 ºС, температуры воздуха – на 4,0 ºС. Резкий спад температуры воды и воздуха в 2011 гг. объясняются извержением вулкана Эйяфьятлайекудль в Исландии в апреле 2010 г. Температура морской воды за последние 27 лет повысилась на 1,13 °С, температура воздуха на 2,0 °С

Работа по объему материала и степени анализа позволяет дать характеристику гидрофизического режима акватории Сухумской бухты.

ПЕРЕНОС ВОДЫ, ТЕПЛА И СОЛИ В ПРОЛИВЕ КАРСКИЕ ВОРОТА

Гордеева С.М., Дешова Д.В.

РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия

Ключевые слова: CMEMS GLORYS12V1, объемный расход, поток тепла, поток соли, Карские Ворота.

В циркуляции вод арктического бассейна большую роль играет водообмен между Баренцевым и Карским морями через пролив Карские Ворота. Целью работы являлась оценка объемного расхода, потоков тепла и соли через пролив Карские Ворота и их изменений за последние десятилетия.

В качестве базы исходных данных использован реанализ CMEMS GLORYS12V1 морской службы Copernicus (https://resources.marine.copernicus.eu/?option=com_csw&view=details&product_id=GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030).

Рассматривался широтный разрез по параллели 70°25' с. ш. на долготе от 57°5' до 57°45' в. д. (от Новой Земли на западе до материка на востоке). Из архива через 5' (2979,6 м) выбирались среднемесячные значения меридиональной составляющей скорости течения, температуры и солености воды на 18 горизонтах исходя из рельефа дна от 0 до 47,4 м за период с января 1993 г. по декабрь 2019 г. Для каждой ячейки разреза отдельно рассчитывались объемный расход, потоки тепла и соли по стандартным формулам, которые потом суммировались. Поток тепла рассматривался относительно температуры замерзания воды (–1,8 °C). Соленость – относительно 0,0 г/кг.

В многолетнем усреднении основной поток воды идет из Баренцева моря в Карское. Максимальные значения скорости отмечаются у Новоземельского склона в придонном слое (55 см/с) и в центральной части разреза на поверхности до 15 м (50 см/с). Наименьший поток – на шельфе в прибрежных зонах (10 см/с). На шельфе Новой Земли отмечается противотечение из Карского моря в Баренцево со скоростью 10 см/с.

Распределение температуры воды на разрезе показывает ядро теплой воды в центре разреза в подповерхностном слое с максимумом на горизонте 5 м (1,2 °C). Наиболее холодная вода в придонном слое выражена у Новоземельского склона (–0,1 °C).

Средняя многолетняя соленость воды изменяется значительно. В восточной мелководной части разреза до долготы 58° в. д. соленость наименьшая (32,2 г/кг) и увеличивается к западу и с глубиной, и достигает максимума в придонном слое западного склона (34,3 г/кг).

Средний многолетние значения потоков через разрез составляют:

– для объемного расхода – 0,40 Св;
– для потока тепла – 4,09 ТВт
– для потока соли – 13,8 Кт/с.

По среднегодовым значениям потоков за период 1993–2019 гг. были оценены линейные тренды. Выявлено, что все потоки за исследуемый период статистически значимо увеличились как за счет усиления объемного расхода, так и за счет потепления и осолонения воды. Величина тренда для течения составляет 4 см/с за 10 лет, для температуры воды 0,63 °С за 10 лет, для солености 0,2 г/кг за 10 лет, что определяет увеличение по тренду за весь период объемного расхода – на 40 %, потока тепла – на 140 %, потока соли – на 41 %.

Противотечение на шельфе Новой Земли хотя и незначительно в общем потоке, но также усиливалось за исследуемый период со скоростью 0,12 см/с за 10 лет.

Полученные оценки с учетом трендов хорошо согласуются с полученными ранее другими исследователями. Например, Масловский и др. (Maslowski at al., 2004) в проливе Карские ворота для периода 1979–2001 гг. получили средние многолетние оценки потоков 0,32 Св, 0,70 ТВт и 10,6 кт/с соответственно.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ДЛЯ АКВАТОРИИ Г. СЕВАСТОПОЛЯ

Греков А.Н.[1], Селезнев И.А.[2], Коровин А.Н.[2], Трусевич В.В.[1], Рязанов В.А.[1]

ИПТС, г. Севастополь, Россия
АО «Концерн «Океанприбор», г. Санкт-Петербург, Россия
oceanmhi@ya.ru

Ключевые слова: BEWS, автоматизированный биомониторинг, экология, загрязнение.

В водной среде мы имеем дело с одновременным влиянием на экосистему сложной смеси многих тысяч загрязняющих веществ. Существующие системы контроля водной среды, основанные преимущественно на физико-химических методах, трудоемки, дорогостоящи, дают фрагментарные сведения и позволяют охватить только узкий спектр загрязняющих агентов. Из-за многообразия необходимых датчиков и их инерционности в системах контроля невозможно своевременно обнаружить внезапные выбросы загрязнений, а, следовательно, в принципе невозможно оперативно определить степень опасности того или иного агента для экосистемы и человека в том числе. Для решения проблемы обнаружения техногенных или биогенных катастроф в природоохранной практике в мире все большую роль играют автоматизированные биоэлектронные системы, т. н. системы раннего обнаружения (BEWS – Biological Early Warning Systems), в которых используются в качестве сенсоров животные, включенные в электронную схему регистрации тех или иных физиологических биохимических и поведенческих показателей. Эти системы, в отличие от физико-химических методов мониторинга, позволяют в реальном времени получать интегральную токсикологическую характеристику среды, оценивать качество воды как среды обитания гидробионтов. Такие системы, не давая информации о содержании конкретных загрязняющих объектов, позволяют получать интегральную информацию о неблагополучии водной среды в реальном времени.

Проведенные предварительные исследования были направлены на выявление сезонных особенностей поведенческих реакций черноморских мидий в естественных условиях обитания, определение выживаемости биосенсоров, установленных в комплексе автоматического биосенсорного мониторинга водной среды. Комплексы были установлены как в зоне моря с наиболее чистой по гидрохимическим показателям водой, так и в зоне вывода городской канализационной сети. В результате исследований установлено отсутствие сезонных различий суточной ритмики движения и амплитуды раскрытия створок. Кроме того, была проведена серия лабораторных экспериментов по определению порога чувствительности моллюсков к воздействию ряда загрязняющих веществ и подтверждена применимость данного метода мониторинга для детектирования загрязняющих веществ в концентрациях ниже ПДК.

В рамках ОКР «Разработка и испытания опытного образца автоматизированного биосенсорного комплекса раннего оповещения для экологического мониторинга водной среды» (Шифр «Экобиоконтроль») разработаны, созданы и испытаны в натурных условиях (в акватории г. Севастополя) элементы автоматизированной биосенсорной системы для мониторинга водной среды с применением двухстворчатых моллюсков. Отработана технология формирования данных о загрязнении акватории по изменению поведения двухстворчатых моллюсков в месте их обитания при появлении загрязнений. Разработан, изготовлен и испытан опытный образец системы, который состоит из: берегового аппаратно-программного комплекса, буйкового аппаратно-программного комплекса (подводный и надводный модули) и якорной системы.

Создаваемая сеть комплексов автоматического биосенсорного мониторинга состояния водной среды необходима для контроля и своевременного информирования о поступлении сточных и льяльных вод в пляжные городские зоны.

ЛЕДОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ В АЗОВСКОМ МОРЕ В 2020–2021 ГГ.

Григоренко К.С.

ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия
klim_grig@mail.ru

Ключевые слова: Азовское море, ледовые явления, припай, нилас.

Среди опасных явлений Азовского моря процессы, связанные с образованием и переносом льда, занимают не последнее место. Движущиеся ледовые поля разрушают гидротехнические сооружения, способствуют ледовой абразии берегов и существенно осложняют судоходство. Развитие хозяйственной деятельности в акватории и на побережье Азовского моря способствуют особой актуальности изучения его ледового режима. Описание ледовой обстановки в Азовском море в 2020–2021 гг. приведено по материалам [1]. Наблюдения за ледовым покровом Азовского моря в 2020–2021 гг. показывают, что его развитие носило очень нестабильный характер. Всего зафиксировано 3 периода похолодания

и роста площади льда. Между ними происходили оттепели с продолжительными периодами положительных температур и разрушения льда. Максимальное развитие ледовых явлений произошло во второй половине февраля. Десятибальным льдом было покрыто около 40 % площади моря. При этом, ледовые явления не успевали развиваться, 10-см нилас и припай разрушались в течение нескольких дней. Серый лед толщиной 10–15 см сформировался только в конце зимы – начале весны у северных берегов Таганрогского залива, носил очень локальный характер и также быстро разрушился во время мартовского потепления.

Ледовые явления 2020–2021 гг. представляли опасность для судоходства. Движение судов осуществлялось с ледовой проводкой, что приводило к долговременным простоям и увеличению затрат для судовладельцев. Ветровой нагон в сочетании с морозной погодой конца февраля привел к обледенению населенных пунктов дельты Дона. При этом, описываемые опасные природные явления не привели к разрушению инфраструктуры и изоляции поселков.

Исследования осуществлены при финансовой поддержке проекта РФФИ № 18-05-80010 Опасные явления «Исследование и прогноз опасных гидрометеорологических и геолого-геоморфологических процессов в районах функционирования стратегических объектов на Азово-Черноморском побережье (исторические и современные аспекты)».

1. Единой государственной системе информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) [Электронный ресурс] 1999-2021. Центр океанографических данных ФГБУ ВНИИГМИ-МЦД. URL: http://193.7.160.230/web/esimo/azov/ice/data/2020-2021/.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ И СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВОД АЗОВСКОГО МОРЯ В 2014–2020 ГГ.

Григорьев А.В.

ГОИН, г. Москва, Россия
ag-privat@mail.ru

Ключевые слова: Азовское море, статистические характеристики, автоспектры.

Оценки спектральных и статистических характеристик Азовского (и, для сравнения, Черного) морей были рассчитаны по данным морских гидрометеостанций Таганрог, Ейск, Приморско-Ахтарск, Керчь, Сочи, Новороссийск, Ялта с дискретностью 1 сутки. Для данных о температуре поверхности вод и уровня моря были использованы данные для 18 часов UTC. Для данных о солености – время неизвестно. При расчетах спектров из данных удалялась их сезонная составляющая. Погрешность оценок средних, дисперсий и коэффициентов корреляции была не более 2 %. Использовались как данные за период 2014–2020 гг., так и отдельно за 2015 («до строительства Крымского моста») и 2019 («после строительства Крымского моста») годы.

Во всех используемых пунктах наблюдений и видов данных ярко выражена синоптическая составляющая. Спектры изменчивости температуры, солености и уровня обладают высокой степенью схожести. Пики спектров в большинстве случаев соответствуют двум периодам: 2–3 и 4–7 суткам. Спектры изменчивости Азовского и Черного моря весьма близки. Спектры, полученные по данным 2019 г., имеют большее число и выраженность пиков в сравнении с аналогами, полученными по данным 2015 г.

Для рядов температуры коэффициенты корреляции не менее 94 % между пунктами Азовского и Черного морей как для 2015-го, 2019-го годов, так и в каждом пункте для указанных сроков. Между пунктами Черного и Азовского морей коррелированность значений температуры – не менее 80 %. Высокие значения коэффициентов корреляции обусловлены как общностью крупномасштабных атмосферных процессов, так и определяющим вкладом внутригодовой изменчивости температуры поверхности вод в Азово-Черноморском регионе.

Средние температуры поверхности вод Mid в 2019 г. в сравнение с 2015-м оказываются выше, а среднеквадратические их отклонения (RMS) – ниже. Повышение температуры вод регионов могут быть причиной формирования более сложной спектральной структуры их вод (появления большего числа пиков). В тоже время, уменьшение значений RMS может быть признаком изменения тенденции температуры в этот период. В отличие от Черного, в Азовском море в указанный период по доступным данным ГМС соленость заметно возросла. Взаимная коррелированность значений солености в обоих морях оказывается ниже 60 %.

Средние значения уровня в пунктах наблюдений за период используемых данных (2014–2020 гг.) весьма близки. Для выбранных пунктов с максимальными различиями (Керчь – Ейск) разница составляет 7 см. Для средних по морям – 5 см. Для средних значений Черное море-Керчь – 1 см, что свидетельствует о высокой степени водообмена между Черным и Азовским морями через Керченский пролив. Уровень Азовского моря оказывается примерно на 5 см ниже в сравнении с Черным. Изменчивость уровня в Азовском море значительно (в разы) превосходит ее значения в Черном море. Этот факт обусловлен мелководностью Азова и, как следствие, существенным влиянием ветровых нагонов, барическим воздействием и сейшевых колебаний.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-05-80025.

ФОРМИРОВАНИЕ И ДЕГРАДАЦИЯ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ НА ШЕЛЬФЕ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ РФ

Григорьев М.Н., Максимов Г.Т.

ИМЗ СО РАН, г. Якутск, Россия
Grigoriev@mpi.ysn.ru

Ключевые слова: подводная мерзлота, кровля субаквальных многолетнемерзлых пород, арктический шельф, деградация мерзлоты, реликтовая и новообразованная мерзлота.

Обширные области арктического края континентов заняты вечной мерзлотой (или субаквальными многолетнемерзлыми породами – СММП). В периоды прошлых морских регрессий большие площади мелководного шельфа арктических морей были осушены и промерзали на большую глубину. В настоящее время реликтовые континентальные СММП в значительном объеме сохранились на шельфе. Подводная мерзлота в прибрежно-шельфовой зоне морей Восточной Арктики РФ наблюдалась в ряде относительно неглубоких (до 100 м глубиной) буровых профилей. Данных о СММП на приглубом шельфе этих морей нет. Имеются

лишь математические модели и косвенные геофизические данные, говорящие о возможном их широком распространении на шельфе. В целом, подводная мерзлота в арктических морях изучена крайне слабо. Достоверно неизвестны ни ее мощность, ни контуры распространения на шельфе. Данные, полученные по немногочисленным буровым и геофизическим профилям на прибрежном шельфе, показывают значительные вариации в уклонах поверхности и темпах деградации мерзлоты сверху при довольно «высоких» температурах (–1, –2 °С) в ее толщах на расстоянии уже в первых километрах от берега. Установлено, что средний уклон (от берега) кровли подводной мерзлоты в прибрежно-шельфовой зоне морей Восточной Сибири – 0,011 (0,62º), а диапазон уклонов составляет от 0,0002 до 0,1. Установлено также, что скорость деградации верхних горизонтов реликтовых СММП составляет первые десятки сантиметров в верхней части подводного берегового склона, уменьшаясь до первых сантиметров и даже миллиметров в год в нижней его части. Эта скорость определяется динамическим режимом береговой зоны, составом, строением и мощностью залегающих на кровле мерзлоты осадков, температурой и соленостью придонного слоя воды, а также характером гидро-литодинамических процессов в прибрежной зоне шельфа.

Проанализированные данные показывают, что в прибрежно-шельфовой зоне морей Лаптевых и Восточно-Сибирского подводная реликтовая мерзлота распространена на большей части подводного склона в прибрежно-шельфовой зоне морей. Новообразованные СММП формируются в пределах аванделыт и в мелководных заливах, где развиты процесс аккумуляции осадков, при глубинах воды менее 2,5 м.

Особенности эволюции верхних горизонтов СММП зависят от ряда факторов: температурного режима и солености придонной воды, темпов отступания или выдвижения берегов, уклонов подводного берегового профиля, морфологии береговой зоны и конфигурации береговой линии; степени открытости к морскому влиянию, характера осадков, слагающих берег и подводный береговой склон, льдистости субстрата, гидро-литодинамических параметров. На многих участках состояние СММП нестабильно,

в силу локальных геотермических, гидрогеологических и тектонических аномалий.

Отчетливых изменений темпов деградации СММП пород в прибрежной зоне арктических морей, в связи с климатическими изменениями в Арктике, обнаружить не удалось.

При проведении этих исследований были использованы средства по грантам РФФИ № 18-45-140057 и № 18-05-70091.

ОЦЕНКА КРИВИЗНЫ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ ВОЛНОМЕРНЫМ БУЕМ

Грязин Д.Г.[1], Глеб К.А.[2]

[1]АО "Концерн "ЦНИИ "Электроприбор",
г. Санкт-Петербург, Россия.
[2]КГНЦ, г. Санкт-Петербург, Россия
volnagdg@yandex.ru

Ключевые слова: кривизна водной поверхности, пространственная производная, волномерный буй, измерения.

Классическая математическая модель пространственного спектра морского волнения, разработанная Лонге Хиггинсом М.С. и Свешниковым А.А., представляет собой ряд Фурье, состоящий из девяти членов. Коэффициенты первых пяти членов разложения определяются через корреляционные функции ординат возвышений волн и углов волнового склона в ортогональных направлениях, а последних четырех – через корреляционные функции кривизны водной поверхности, которые измеряются с помощью волномерных буёв (ВБ). С точки зрения математики, кривизна волновой поверхности является второй производной ординат волн и первой производной углов волнового склона по пространственным координатам.

Предложенная математическая модель пространственного спектра волнения позволяет определить частотные характеристики и энергию волн, распространяющихся с разных географических направлений. Указанная информация чрезвычайно важна для прогнозирования и предотвращения аварийных ситуаций

морских платформ и иных гидротехнических сооружений. Однако определение кривизны водной поверхности затруднительно т.к. требует создания специфичной конструкции буёв, имеющих в своем составе дополнительные поплавки на шарнирах. Попытки создания таких приборов были предприняты Кортрайтом и Смиттом, однако не увенчались успехом в связи с низкой надёжностью подобных конструкций. В связи с этой особенностью, современные ВБ имеют традиционные геометрические формы и выполняют измерения только ординат возвышений и углов волнового склона морских волн. Отсутствие информации о пространственных производных приводит к отрицательным выбросам в графиках спектральной плотности волнения. Это явление известно и абсолютно логично с позиции математики, но противоречит физическим процессам. Указанная причина привела к разработке алгоритма аппаратного определения направления бега волн с использованием спектра углов волнового склона. Учитывая, что по мере развития волнения волны превращаются в брейкеры с выраженным передним фронтом, а также то, что ВБ часто устанавливаются на якоре и их колебания в горизонтальной плоскости в основном происходят в направлении бега волн, пространственный спектр представляется в виде произведения плоского спектра двухмерного волнения и функции углового распределения. Однако при таком подходе искажаются спектральные характеристики волнения, о чём свидетельствуют многочисленные публикации.

В докладе предлагается метод измерений, позволяющий выполнить расчёт пространственных производных с помощью измерений волнения, выполненных ВБ традиционной формы. Для этого предложено привлекать информацию о скорости распространения волн. Приводятся алгоритмы вычислений пространственного спектра. Подробно исследуются составляющие методической погрешности. Разработаны алгоритмические методы, позволяющие существенно уменьшить методическую погрешность. В волновом опытовом бассейне выполнена верификация теоретических исследований. Показано, что предложенный метод измерений может быть использован не только для обработки информации ВБ, но и для струнных волнографов.

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛН ЦУНАМИ МЕТОДОМ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ЦУНАМИГЕНЕРАТОРА

Гусаров Р.Н.

НИУ МГСУ, г. Москва, Россия
romanzets@yandex.ru

Ключевые слова: физическое моделирование, волны цунами, волновые воздействия, береговые гидротехнические сооружения, пневматический цунамигенератор.

Волновые воздействия на протяжении многих веков являются большой угрозой для береговых территорий. Одними из самых опасных волн являются волны цунами, воздействие которых может привести к большим разрушениям зданий и сооружений, а главное, к человеческим жертвам среди населения. Несмотря на разработанные методы защиты береговых территорий, такие как морские гидротехнические сооружения или системы своевременного оповещения о волнах цунами, остается много вопросов о поведении волн цунами в прибрежных районах и взаимодействии их с береговыми сооружениями.

Проверка проектируемых берегозащитных сооружений на волновые нагрузки представляется возможным двумя способами – численным или физическим моделированием. Однако численное моделирование в области проектирования берегозащитных сооружений также нуждается в тестировании лабораторными исследованиями. По этим причинам, в СП 292.1325800.2017 «Здания и сооружения в цунамиопасных районах. Правила проектирования» появились обязательные пункты, в которых прописано, что физическое моделирование необходимо для защитных береговых сооружений, расположенных в цунамиопасных зонах.

В связи с актуальностью физического моделирования волновых воздействий, многие исследователи разрабатывают различные методы моделирования воздействий цунами на гидротехнические сооружения.

В представленном докладе будут разобраны наиболее используемые методы физического моделирования воздействий волн цунами, подробно рассмотрен один из самых перспективных методов создания волн цунами в лабораторных условиях – метод пневматического цунамигенератора, а также описаны первые экспериментальные исследования по воздействию волн цунами в лабораториях НИУ МГСУ с применением данного типа цунамигенератора.

ПЕРЕНОС ГЛУБИННЫХ И ДОННЫХ ВОД ЧЕРЕЗ РАЗЛОМ ВИМА СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКОГО ХРЕБТА

Демидов А.Н., Гиппиус Ф.Н., Иванов А.А., Добролюбов С.А., Волкова В.В.

МГУ, г. Москва, Россия
alik1@mail.ru

Ключевые слова: разлом Вима, Антарктические донные воды, ААДВ, перенос донных вод, реанализ, Glorys12v1.

Вопрос об основном пути переноса Антарктических донных вод (ААДВ) в восточную часть Атлантики долгое время оставался не до конца выясненным. Если в западной части распространение ААДВ происходит практически беспрепятственно, то проникновение этих вод в восточную часть затруднено Срединно-Атлантическим хребтом и происходит только через трансформные разломы – разлом Вима, расположенный в районе 11° с. ш., и разломы Романш и Чейн, расположенные в районе экватора.

Прямые измерения скоростей серией измерителей течений в разломах Романш и Чейн выявили соизмеримый перенос ААДВ, равный 0,66 и 0,56 Св (1 Св=10^6 м^3/с). Большинство предшествующих работ свидетельствует о переносах в разломе Вима 0,5–2 Св, что сопоставимо с этими величинами.

В основе настоящей работы лежат данные измерения течений и основных гидрологических характеристик, полученные во время 45-го рейса НИС «Академик Николай Страхов» в ноябре 2019 г. Исследовались изменения переноса Антарктических донных вод в разломе Вима на основе прямых измерений и реанализа Glorys12v1. По результатам измерений скоростей течений в 2019 г., перенос в разломе Вима составляет 0,9 Св, причем, по распределению растворенного кислорода, установлено, что за верхнюю границу ААДВ правильнее принять изотерму 1,7 ºС, а не 2 ºС. Реанализ показал хорошее соответствие с прямыми измерениями. Перенос донных вод в среднем за период реанализа составляет 0,66 Св. В целом за 25-летний период для реанализа наблюдаются тенденции роста переноса и увеличения температуры. Измерения придонной температуры за 20 последовательных зондирований показали суточные изменения с 1,36 до 1,41 ºС. Этот интервал практически перекрывает весь диапазон изменения значений предыдущих лет.

КАКИМ БЫЛ УРОВЕНЬ ЧЕРНОГО МОРЯ В АНТИЧНОЕ ВРЕМЯ?

Дикарёв В. А.

МГУ, г. Москва
dikarev@rambler.ru

Ключевые слова: Изменение уровня моря, голоцен, геоархеология, палеогеография радиоуглеродное датирования.

В настоящее время среди исследователей истории Черного моря нет единого мнения о ходе изменения его уровня после соединения со Средиземноморским бассейном через пролив Босфор, которое произошло примерно 8-9 тыс. лет назад. В отечественной литературе преобладает выделение в этот период четырех основных трансгрессивных эпох: Древнечерноморская (Бугазская), Новочерноморская (Джеметинская), Нимфейская и Со-

временная. Эти трансгрессивные стадии описывались различными исследователями с помощью эвстатических кривых изменения уровня моря, осложнённых высокоамплитудной колебательной динамикой. Замедления трансгрессий и периоды их разделяющие были выделены в качестве регрессивных эпох. Так между трансгрессиями были выделены Каламитско-Джеметинская (Понтийская), Фанагорийская и Позднесредневековая (Корсуньская) регрессии. Все они характеризовались на графиках существенным понижением уровня моря [Балабанов, 2009].

В ходе полевых исследований на Керченском и Таманском полуостровах автор пришёл к выводу о значительных неточностях в выделяемых трансгрессивно-регрессивных фазах, особенно во второй половине голоцена, начиная с возраста примерно 4000 лет назад. Результатом работ стала публикация статей с критикой, т. н. фазы Фанагорийской регрессии, со значительным (более 4–5 м) понижением уровня моря [Дикарёв, 2011]. Ни палеогеографические индикаторы (раковинный материал), ни гипсометрическое положение античных памятников на побережье Керченского и Таманского полуостровов не давали основания считать, что уровень моря понижался и столь значительно. Затопленные же остатки античных городов, в частности Фанагории, по имени, которого и названа фаза регрессии, объясняются тектоническими прогибами, а не отступлением уровня. Кроме того, анализ аналогичных исследований зарубежных коллег по Мраморному и Средиземному морю, также не подтверждают данный этап, а в условиях соединённых бассейнов, различия в уровнях более 2–3 м просто невозможны. Они были бы скомпенсированы притоком Средиземноморских вод через проливы.

В 2016 г. вышла монография И.П. Балабанова «Чёрное море в античную эпоху». В ней автор приводит выдержки из античных и римских источников, где тем или иным образом упоминаются географические характеристики Чёрного моря. В результате всестороннего анализа этой информации делаются выводы об уровненном и волновом режиме в различные эпохи Тем не менее, автор остаётся на разрабатываемой им в предыдущих работах позиции и кривой колебания уровня моря в голоцене, где в античный период имело место быть значительное понижение уровня Чёрного моря до отметок -5 м относительно современного.

Нами было ранее доказано, что такое понижение уровня повлекло бы изменение береговой линии в Азовском море, составляющим единый гидрологический бассейн с Чёрным морем, на сотни метров. Отрезанными от моря оказались бы многочисленные поселения Боспорского царства, расцвет которых пришёлся на VI–IV вв. до н. э. то есть как раз на пик предполагаемой Фанагорийской регрессии. Данная палеогеографическая ситуация не подтверждается ни характером расположения античных памятников на побережье Азовского моря, ни полученными нами данными радиоуглеродного датирования морских террас в районах расположения этих памятников. Подробное объяснение причин затопления античных городов на Таманском полуострове, таких как Фанагория, Патрей и т. д. приведены в работе Fouache E. et al. 2012 г.

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ В РЕЙСЕ АМК-82

Ермошкин А.В., Купаев А.В., Мольков А.А.

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия
al-ermoshkin@yandex.ru

Ключевые слова: дистанционное зондирование, когерентный радар, панорамы высокого разрешения, морской лед, внутренние волны, ветровое волнение, течение.

Настоящая работа освещает результаты обнаружения приповерхностных гидрофизических процессов по их проявлениям на радиолокационных панорамах морской поверхности высокого разрешения, полученных в ходе 82-го рейса научного-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» по российским Арктическим морям в 2020 году. Маршрут начинался в Архангельске, проходил через Белое и Баренцево море, далее через Карские ворота, Карское море, пролив Вилькицкого, море Лаптевых и Восточно-Сибирское море. Когерентный панорамный радиолокатор кругового обзора X диапазона НН поляризации MRS-1000

НПФ Микран располагался на пеленгаторной палубе судна на высоте 22 м и позволял проводить регистрацию состояния морской поверхности на ходу судна и в дрейфе. Построение радиолокационных панорам высокого разрешения осуществлялось с помощью оригинального метода, детали которого представлены в работе. В качестве примеров, приводятся панорамы, содержащие проявления различных гидрофизических процессов с пространственным разрешением 1 м. В частности, приводятся примеры регистрации ледовых полей с льдом разного типа: сало, нилос, сезонный лед. Зарегистрированы проявления внутренних волн в проливах Карском и Велькицкого. Скоростные радиолокационные изображения, полученные разностно-фазовым методом, демонстрируют перспективность их использования, для определения скорости поверхностного течения и орбитальных скоростей ветровых волн.

Радиолокационные данные получены в ходе экспедиции в Восточной Арктике на борту НИС «Академик М. Келдыш» при поддержке проекта РНФ № 20-77-10081.

ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ В ВИСЛИНСКОМ-КАЛИНИНГРАДСКОМ ЗАЛИВЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ В 2011-2021 ГОДАХ

Железова Е.В.

ИО РАН, г. Москва, Россия
ironkate@inbox.ru

Ключевые слова: лагуна, спутниковые снимки, ледовый покров, полынья.

Подробно представлены особенности залива и его гидрологический режим в условиях ледового покрова и без него (по литературным данным и экспедиционным работам).

Сроки и длительности ледовых сезонов посчитаны по спутниковым данным видимого спектра и РСА-снимкам за данный временной период. От суровости зимы зависит продолжительность покрытия льдом залива (средняя в 2011–2021 гг. составляла

47 дней, максимальная в 2012–2013 – 132 дня, минимальная в 2014–2015 гг. – 3 дня). Сделан вывод, что если на заливе есть ледовый покров, то существует и приустьевая внутренняя полынья у Балтийского пролива.

Зимы 2011–2021 гг. по продолжительности подразделяются на короткие (2014–2015, 2015–2016, 2017–2018, 2018–2019, 2019–2020, 2020–2021), промежуточные (2011–2012, 2013–2014, 2016–2017) и долгие (2012–2013); по суровости - на мягкие (2013–2014, 2014–2015, 2015–2016, 2016–2017, 2018–2019, 2019–2020), умеренные (2011–2012, 2017–2018, 2020–2021) и суровые (2012–2013). Проанализированы температура воздуха, направления и сила ветра, уровень моря. Вычислены кумулятивные негативные и суммы аномалий среднемесячных температур воздуха. Данные о метеорологических характеристиках сопоставлены с показателями ледовитости зим.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-35-90102 (доступ к спутниковым снимкам) и темы № 0128-2021-0012 гос. задания ИО РАН (анализ).

НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ» В ЮЖНОМ ОКЕАНЕ – ВИД ИЗ КОСМОСА

Замшин В.В., Чверткова О.И., Ходаева В.Н., Матросова Е.Р., Шлюпиков В.А.

НИИ «АЭРОКОСМОС», г. Москва, Россия
viktor.v.zamshin@gmail.com

Ключевые слова: дистанционное зондирование, морская поверхность, спутниковая океанография, судовые измерения, подспутниковые измерения, натурные измерения, Южный океан, геоинформационные системы.

Работа посвящена изучению возможности и перспектив проведения комплексных исследований морских акваторий с использованием согласованных спутниковых и судовых измерений

значимых параметров водной среды с учетом технических характеристик современных группировок космических аппаратов дистанционного зондирования Земли.

Проведён эксперимент, заключающийся в сборе, систематизации и анализе разнородных спутниковых данных, соответствующих пространственно-временным координатам маршрута 79-го экспедиционного рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Южном Океане (Атлантическая Антарктика).

Разработана информационная инфраструктура, обеспечившая обмен информацией в рамках проведения 79-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» (в том числе, доставку обработанной спутниковой информации на борт судна). При планировании экспедиционных работ успешно применялись переданные данные о ледовой обстановке, альтиметрии, температуре морской поверхности и концентрации взвешенных веществ.

Оценена периодичность получения спутниковых данных различными спутниковыми системами (Sentinel-1A/B, Sentinel-2A/B, AQUA/TERRA и др.), пригодных для совместной обработки с данными судовых измерений с учетом метеорологических условий Атлантической Антарктики. В рамках решения задач исследования рассмотрены подходы к использованию спутниковых информационных продуктов низкого разрешения (AQUA/TERRA, Sentinel-3A/B, NOAA, SUOMI NPP), формируемых с различным временным разрешением (месячные, недельные, суточные, отдельные сцены). В целом использование оптической съемки в районе интереса возможно, но осложнено метеорологическими условиями.

В течение 40-дневного отрезка маршрута НИС «Академик Мстислав Келдыш» было идентифицировано 16 раз на космических радиолокационных изображениях среднего разрешения (Sentinel-1A/B) и 3 раза на космических оптических изображениях среднего разрешения (Sentinel-2A/B и Landsat-8).

Продемонстрирована возможность и целесообразность выполнения комплексных исследований морских акваторий с использованием согласованных спутниковых и судовых измерений в Атлантической Антарктике. Полученные результаты могут быть использованы при разработке программ судовых экспедиций.

Исследование выполняется при поддержке Минобрнауки России, уникальный идентификатор гос. задания 0588-2019-0030.

ТОНКАЯ СТРУКТУРА ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ И ЕЕ СВЯЗЬ С ТЕРМОХАЛИННМИ АНОМАЛИЯМИ И ФРОНТАМИ

Зацепин А.Г., Подымов О.И.

ИО РАН, г. Москва, Россия
zatsepin@ocean.ru

Ключевые слова: Черное море, тонкая структура, термохалинные аномалии и фронты.

Одним из физических явлений, распространенных в океане и атмосфере, обладающих устойчивой плотностной стратификацией, является тонкоструктурное расслоение этих сред. В океане вертикальные масштабы тонкой структуры составляют от одного до нескольких десятков метров, а горизонтальные – на несколько порядков больше. Сама структура характеризуется либо наличием слоев с пониженными вертикальными градиентами температуры, солености и плотности, разделенных высокоградиентными прослойками (ступенчатая структура), либо слоями с инверсиями температуры и солености (инверсионная структура).

Согласно исследованиям, выполненными авторами настоящей работы, в верхнем 150–200-метровом слое Черного моря существуют термохалинные фронты, наблюдающиеся как в прибрежной зоне конвергенции, так и в центральной зоне дивергенции. Эти фронты, происхождение которых не всегда очевидно, могут являться генераторами интрузий и тонкой структуры инверсионного типа.

Основной массив обрабатываемых данных составили 44 перпендикулярных берегу гидрофизических разреза длиной 70–100 миль, выполненных CTD-зондом с борта НИС «Акванавт» в 1997–2009 гг. в северо-восточной части Черного моря. По этим материалам были рассчитаны и построены в поле плотности аномалии температуры и солености. Основная масса разрезов была выполнена на траверзе Голубой Бухты г. Геленджика.

Для расчета температурных аномалий строилась равномерная сетка, где по горизонтали был шаг в 1 морскую милю, а по верти-

кали – 1 м для поля глубины и 0,01 кг/м^3 для поля условной плотности. По построенной сетке считалось арифметическое среднее для всех значений температуры на отдельном горизонте (изобаре либо изопикне), после чего полученное среднее вычиталось из значений температуры на данном горизонте для каждого из профилей. Полученные в результате значения представляли собой температурные аномалии, т. е. отклонения температуры на отдельном горизонте (изобарическая аномалия) или, изопикне (изопикническая аномалия) от средней по разрезу. Были получены следующие результаты.

Выявлены и проанализированы мезомасштабные (20–50 км) изопикнические термохалинные аномалии в верхнем 300-м слое Черного моря. Эти аномалии и фронты, образующиеся на их границах, являются потенциальными источниками тонкой структуры вод инверсионного типа.

Установлено, что в диапазоне изменения условной плотности 14,5–16,5 кг/м^3 амплитуда температурных аномалий быстро убывает с возрастанием плотности, и ниже изопикн 16,1–16,2 аномалии они не превышают значений +/- 0,03 °С. При этом вверху они достигают величин +/- 0,7–0,9 °С. Имеет место сезонная изменчивость амплитуды аномалий и мала ее изменчивость вдоль разрезов.

Сравнение амплитуд термических аномалий на изопикнах с амплитудами термических аномалий на изобарах, показало, что последние в 2–4 раза превосходят первые. Корреляционных связей между этими аномалиями не обнаружено. Однако это не означает, что изобарические термические и соленостные аномалии, образованные, в основном, смещением изолиний по вертикали, не влияют на образование термохалинных аномалий на изопикнах.

Показано, что тонкая структура вод на профилях температуры имеет преимущественно инверсионный характер в областях, где произведение амплитуды термической аномалии на изопикне на тангенс угла наклона изотермы к изопикне имеет по модулю достаточно большое значение (области высокой термоклинности).

Не обнаружено изопикнических аномалий температуры и тонкоструктурных инверсий температуры, обусловленных распространением Босфорских вод в Черном море. Наблюдавшиеся изо-

пикнические температурные аномалии и тонкоструктурные инверсии были образованы, скорее всего, вследствие региональных физических процессов в северо-восточной части Черного моря.

Работа выполнена по теме госзадания 0128-2021-0002 и при поддержке гранта РФФИ №20-05-00496.

ВНУТРИГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРЕННЕГО ВОЛНЕНИЯ ВБЛИЗИ ТИХООКЕАНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА И КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

Зимин А.В.[1,2], Свергун Е.И.[1,2], Лазуткина Е.С.[2], Жегулин Г.В.[1]

[1]ИО РАН, г. Москва, Россия
[2]СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
Egor-svergun@yanex.ru

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, Тихий океан, радиолокационные изображения.

Была исследована внутригодовая пространственно-временная изменчивость характеристик поверхностных проявлений короткопериодных внутренних волн (КВВ) вблизи Тихоокеанского побережья полуострова Камчатка и Курильских островов. По результатам обработки спутниковых изображений радиолокатора Sentinel-1 начиная с декабря 2018 г. по ноябрь 2019 г. были получены значения таких характеристик как координаты проявления волн, количество гребней в пакете, длина волны, длина лидирующего гребня и направление распространения.

Обработано 827 радиолокационных изображений и выявлено 1875 проявлений КВВ. Из них в летний период – 924, в осенний – 649, в весенний – 255, в зимний – 47. Частота проявления КВВ на РЛИ имеет ярко выраженный годовой ход с максимумом в июле (361 пакет) и минимумом в феврале (6 пакетов).

Показано широкое распространение КВВ на акватории региона. Основные очаги частой встречаемости КВВ, расположены у

островов Кунашир и Зеленый; в районе острова Онекотан; у Камчатского п-ова около мыса Шипунский и Кроноцкого п-ова.

Получены детальные статистические характеристики проявлений внутреннего волнения на всей исследуемой акватории. Пакеты КВВ в среднем содержали 5 волн, длина волны составляла около 500 метров, а длина лидирующего гребня – 17 км.

Показано, что КВВ могут генерироваться, как приливной динамикой, так и относительно крупными меандрами Курило-Камчатского течения.

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ХАРАКТЕРИСТИ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В СУБМЕЗОМАСШТАБНОМ ИНТЕРВАЛЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ

Зимин А.В.[1,2], Родионов А.А.[1], Мотыжев С.В.[3], Лунев Е.Г.[3], Толстошеев А.П.[3]

[1]ИО РАН, г. Москва, Россия
[2]СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
[3]СевГУ, Севастополь, Россия
zimin2@mail.ru

Ключевые слова: измерительные системы, контактные наблюдения, короткопериодные внутренние волны, субмезомасштабные вихри.

Широко распространенные в океанах и морях короткопериодные внутренние волны и малые вихри формируют субмезомасштабные неоднородности гидрофизических полей, а также аномалии перемешивания вод с пространственными масштабами от сотни метров до единиц километров на временных интервалах от нескольких минут до суток. Из-за малых пространственно-временных масштабов этих процессов представления о них носят отрывочный характер. Исследования субмезомасштабных процессов невозможны без создания распределенных наблюдательных сетей для автоматического мониторинга отдельных акваторий.

Цель работы – описать характеристики сетевой оперативной наблюдательной системы для высокоразрешающего мониторинга гидрофизических полей.

Система состоит из группы автономных свободно дрейфующих поверхностных термопрофилирующих буев и станции автоматического приема информации с дрейфующих буев.

Каждый дрейфующий буй представляет собой автономную дрейфующую платформу сбора данных, состоящую из: поверхностной плавучести (корпуса) с элементами электропитания, устройством сбора и хранения данных, модулем определения координат, модемом спутниковой связи и измерительной линии с датчиками температуры воды и датчиком гидростатического давления. Измерительная линия представляет собой кабель, в который на глубинах от 1 до 65 м интегрированы 18 датчиков температуры с погрешностью не более 0,05 °С. Разработанная методика герметизации датчиков обеспечивает постоянную времени измерений температуры не более 10 с. Дискретность отсчетов профилей температуры – 30 с. Синхронизация систем реального времени буев с всемирным координированным временем производится автоматически по данным приемника спутниковой навигационной системы.

Приемная станция состоит из блока приема информации, антенн спутниковой связи и персонального компьютера со специализированным программным обеспечением.

Система мониторинга может быть развернута в кратчайший срок с произвольным начальным положением буев, а ее конструкция ориентирована на многократное применение.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛЮМА РЕКИ ЛЕНА ПО СПУТНИКОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ СОЛЕНОСТИ И УРОВНЯ ВО ВРЕМЯ БЕЗЛЁДНОГО ПЕРИОДА

Жук В.Р.[1,2], Кубряков А.А.[1], Осадчиев А.А.[3]

[1]МГИ, г. Севастополь, Россия
[2]СевГУ, г. Севастополь, Россия
[3]ИО РАН, г. Москва, Россия
zhuk-vlad1slav@ya.ru

Ключевые слова: речные плюмы, река Лена, море Лаптевых, спутниковая альтиметрия, сезонная и межгодовая изменчивость.

Опресненные водные массы существенно влияют на многие локальные процессы в Северном Ледовитом океане. Ежегодный сток реки Лена составляет ~ 538 км. Большая его часть поступает в море Лаптевых во время безлёдного период в июне – сентябре и образует плюм, который играет значительную роль в формировании гидрологической структуры региона, а также во многом определяет, динамику прибрежных морей Арктического бассейна.

Появление новых спутниковых измерений солёности спутника SMAP, а также развитие альтиметрических измерений позволяет расширить имеющиеся представления о механизмах и ареалов распространения плюма реки Лена.

Проведенное в работе сопоставление контактных измерений солености, полученных в ряде экспедиций ИО РАН в 2018–2019 гг., и данных SMAP показало достаточную точность спутниковых измерений и их способность выявлять области опресненных вод в Арктике. СКО между контактными и спутниковыми измерениями составило около 1 psu, корреляция 0,97.

Далее, на основе спутниковых измерений солености определены характеристики межгодовой и пространственной изменчивости распространения пресных вод моря Лаптевых в 2015–2020 гг.

Проведенный анализ показал, что выделяются 2 типа распространения: северный и восточный. Для первого характерно занятие опреснёнными водами области около 130° з. д. 76° с. ш. для

второго продвижение на восток вплоть до 175° з. д. Так в 2016–2019 г. наблюдалось восточное направление, а в 2015 г. и 2020 г. – северное. Показано, что северные ветра способствуют блокировке восточного типа распространения, в то время как южные интенсифицируют поток вод на восток.

Обнаружена связь повышенного уровня моря (ADT) с областью нахождения пресных вод для восточного типа распространения. Используя эту связь определены типы распространения пресных вод с помощью данных альтиметрии с 1993–2020 гг.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 21-17-00278 и государственного задания 0555-2021-0006.

ИНТЕРФЕЙС ДОСТУПА К ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИМ ДАННЫМ ПО ЧЁРНОМУ МОРЮ

Жук Е.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия
elena.zhuk@mhi-ras.ru

Ключевые слова: база данных, ГИС, Чёрное море, Postgresql, Django.

В Банке океанографических данных (БОД) МГИ хранится более 160 тысяч океанографических станций по Чёрному морю, полученных в период с 1890 г. по настоящее время [1]. Для хранения и организации доступа к этим данным разрабатывается информационная система на основе ГИС технологий с онлайн доступом [2,3,4].

Система разрабатывается на базе клиент-серверной архитектуры с использованием паттерна проектирования MVC (Модель-Вид-Контроллер), реализуемого с помощью фреймворка Django. Интерфейс пользователя разрабатывается с использованием шаблонов Django, библиотеки jQuery, а также библиотеки Mapbox GL JS, которая обеспечивает работу с картографическим материалом. Обмен данными между пользовательским интерфейсом и сервером осуществляется в формате JSON. Данные океанографических наблюдений хранятся в СУБД PostgreSQL. Работа пользователей с системой организована в рамках web-сессий.

Интерфейс доступа к океанографическим данным позволяет осуществлять выборку по следующим критериям:

– выборка по рейсу: по названию рейса; названию судна; году, в который состоялся рейс. Можно выбрать как один, так и несколько рейсов;

– выборка по карте: координаты прямоугольной области задаются на карте;

– выборка по временному интервалу: ограниченный датой начала и датой окончания временной интервал и/или список месяцев;

– выборка по параметрам.

Пользователи, прошедшие авторизацию, получают возможность скачать открытые данные, сохранить сформированные выборки, посмотреть ранее сделанные запросы, а также отправить запрос на получение разрешения на скачивание закрытых данных.

Работа ведется в рамках темы государственного задания № 0555-2021-0003 «Оперативная океанология».

1. Еремеев В.Н., Халиулин А.Х., Годин Е.А., Ингеров А.В., Белокопытов В.Н., Жук Е.В., Галковская Л.К., Исаева Е.А. Проблемно-ориентированная геоинформационная система Черного моря // Устойчивость и эволюция океанологических характеристик экосистемы Черного моря. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. – С. 8 – 31.

2. Zhuk E., Khaliulin A., Zodiatis G., Nikolaidis A., Isaeva E. Black Sea GIS developed in MHI. Proc. SPIE 9688, 4th International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2016), 96881C (August 12, 2016); doi: 10.1117/12.2241631 Vol. 9688 http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=2545474

3. 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, с. 74-81; DOI: 10.22449/0233-7584-2017-3-74-81.

ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА СЕЗОННУЮ ЭВОЛЮЦИЮ СНЕЖНО-ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА

Завьялов Д.Д., Соломаха Т.А.

МГИ, г. Севастополь, Россия
solomaxa.ta@mhi-ras.ru

Ключевые слова: морской лед, термодинамика, толщина льда, атмосферные осадки, дождь, снег, Азовское море.

Существенную роль в формировании и развитии морского льда играют атмосферные осадки. Снег аккумулируется на поверхности льда, а осадки в виде дождя, попадая на снег, поглощаются им, изменяя плотность и альбедо снежного покрова. Жидкие осадки способствуют усилению таяния снега и льда даже в том случае, когда температура дождя лишь незначительно выше 0 °С. Указанные особенности влияния осадков на снежно-ледяной покров важно правильно оценивать и учитывать при расчетах характеристик морского льда. Осадки представляют собой одно из самых изменчивых во времени и пространстве метеорологических явлений, а сведения о их фазовом составе являются важной синоптической характеристикой региона. На поверхность Азовского моря даже в холодный период года выпадает значительное количество смешанных осадков, а количество дней с дождем в зимний период может превышать количество дней со снегом. Сложность наблюдений и малочисленность непосредственных измерений как снежно-ледяного покрова Азовского моря, так и фазового характера выпадающих осадков, существенно затрудняют исследование зимней термодинамики этого водоема. Неопределенность, возникающая при расчете толщины снежно-ледяного покрова моря, в значительной степени может быть связана с неточностями в определении фазового состава атмосферных осадков.

В моделях динамики снежного покрова, основанных на определении фазового состава осадков по значению приповерхностной температуры воздуха, используют статический и динамический методы разделения осадков на фазы (дождь/снег). В статическом методе критерием деления на жидкие и твердые осадки выступает пороговая температура воздуха, ниже которой все

осадки классифицируются как снег, выше – как дождь. Динамический метод разделения осадков учитывает постепенное изменение доли содержания дождя и снега в некотором температурном диапазоне. Такие зависимости не являются универсальными и носят выраженный региональный характер. Пороговое значение и границы интервала температур, а также характер зависимости процентного содержания дождя/снега от температуры определяются из метеорологических данных или в процессе калибровки параметров модели. Поскольку натурных и прогностических данных о фазовом составе осадков над акваторией Азовского моря крайне мало, то ставится задача сравнения результатов моделирования сезонной термической динамики толщины морского льда при использовании различных методов определения доли твердой и жидкой фазы в суммарных осадках. Термическая эволюция снежно-ледяного покрова описывается локально-одномерной термодинамической моделью. На её основе проведены численные эксперименты с целью исследования влияния фазового состава атмосферных осадков на воспроизведение сезонной эволюции толщины льда в вершине Таганрогского залива. Достоверность результатов моделирования оценивалась путем сопоставления моделируемых и фактических значений толщины морского льда, снятых с ледовых карт, публикуемых Единой государственной системой информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО).

Сравнительный анализ результатов численных экспериментов по воспроизведению сезонного хода толщины льда и данных наблюдений на метеостанции Таганрог в зимние сезоны 2007/08–2010/11 гг. показал, что наиболее оправданными, с точки зрения оптимальных значений среднеквадратического отклонения и коэффициента корреляции, оказались результаты, полученные при использовании S-образной зависимости доли снега в атмосферных осадках внутри переходного интервала температур. Минимальные ошибки воспроизведения сезонной эволюции толщины льда получены при пороговой температуре, близкой к 2 °C, и ширине переходного интервала температур 1...3 °C для зим с малым количеством осадков и 5...9 °C – для зим с осадками, близкими к климатической норме или превышающими ее. Для малоснежных зим лучшие результаты были получены при использовании статического метода определения фазы осадков. Расчеты, сделанные при использовании полуэмпирической зависимости доли снега от температуры и относительной влажности, дали удовлетворитель-

ные результаты для всех рассмотренных зимних сезонов. Эти зависимости могут быть использованы при отсутствии достоверных данных о фазе осадков в качестве начального выбора метода разделения осадков для использования в термодинамической модели морского льда.

ОПТИМИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ПЛАНИРОВАНИЯ МОРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ОПЕРАЦИЙ ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Иванов В.В.[1], Бресткин С.В., Кусуров В.И., Ситников И.Ю.

[1]ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
ivv@aari.ru
[2]ООО «Нав Девелопмент Ко», г. Санкт-Петербург, Россия

Ключевые слова: Гидрометеорологическое обеспечение, ледовые карты, ледовые прогнозы, снимки ИСЗ, электронные навигационные системы.

Использование оперативной информационной продукции (снимков ИСЗ, обзорных и детализированных ледовых карт, ледовых и гирдрометеорологических прогнозов) позволяют выбирать оптимальные варианты и маршруты движения судов, которые, при сложных ледовых условиях, зачастую оказываются единственно возможными.

Необходимая информационная продукция индивидуально для каждого потребителя подготавливается в Арктическом и антарктическом НИИ и оперативно доставляется на обслуживаемые объекты, в т. ч. удаленные и мобильные. Форматы передаваемой информационной продукции согласовываются с информационными системами пользователей, что позволяет отображать ее совместно. Так ледовые карты, передаваемые на суда и ледоколы совмещаются с навигационными картами в электронных картографических навигационных системах (Transas NS 4000 и D-kart

Ice navigator). Для оптимизации приема оперативной информации разработана специальная связная программа- коммуникатор позволяющая скачивать и переадресовывать получаемую информацию в соответствующие каталоги навигационных систем.

ФОРМИРОВАНИЕ «КУПОЛА» ПЛОТНЫХ ВОД НАД ЦЕНТРАЛЬНОЙ БАНКОЙ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В УСЛОВИЯХ СОКРАТИВШЕГОСЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА

Иванов В.В.[1,2], Тузов Ф.К.[1,3]

[1]МГУ, г. Москва, Россия
[2]ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
[3]ВНИИ ГОЧС, г. Москва, Россия
vladimir.ivanov@aari.ru

Ключевые слова: Баренцево море, морские течения, конвекция, каскадинг, взаимодействия океана и атмосферы, морской лед.

Постепенное сокращение объема морского льда в Северном Ледовитом океане (СЛО), начавшееся в 1990-х годах, вероятно, достигло своего рода переломного момента в середине 2010-х годов в арктических морях, где ледяной покров стал сезонным. К концу 2010-х годов начали проявляться явные признаки реакции океана на изменения, произошедшие на его на поверхности. В силу географического положения Баренцева моря, в пограничной зоне между Северо-Европейским и Арктическим бассейнами СЛО, изменения гидрологической структуры в этом море особенно заметны. В настоящее время наблюдается существенное сокращение площади морского льда в Баренцевом море не только летом, но и на пике его сезонного зимнего максимума. Одним из следствий таких изменений стала перестройка зимних конвективных процессов в районах, где произошло заметное отступление льда в зимний сезон.

В докладе представлены результаты исследования формирования куполообразной плотностной структуры над Центральной банкой – важного морфологического элемента рельефа дна Ба-

ренцева моря. Исследование выполнялось на основе комплементарных наборов данных, включавших спутниковую информацию, продукты атмосферного и океанского реанализов, а также материалы гидрологических измерений, полученные в конце зимы – начале весны 2019-го года в экспедиции «Трансарктика-2019, первый этап» на НЭС «Академик Трешников».

Главный вывод, который следует из проведенного анализа, заключается в том, что в изменившихся условиях на поверхности моря трансформация термохалинной структуры вод над Центральной банкой в холодное время года принципиально отличается от наблюдавшейся в средних климатических условиях 20-го века. Переход от стратифицированной по плотности вертикальной структуры (летом) к однородной структуре (зимой) контролируется термической конвекцией. Дополнительная адвекция тепла и соли с поступающей из Норвежского моря водой атлантического происхождения имеет принципиальное значение для реализации вертикального конвективного перемешивания от поверхности до морского дна. Стекание (каскадинг) плотной воды с банки начинается, как только конвекция достигла дна. Влияние каскадинга на гидрологическую структуру Баренцева моря простирается на несколько сотен километров от Центральной банки. При отсутствии значительного адвективного поступления тепла и соли вертикальная конвекция над банкой также может распространяться до дна. Однако, для этого требуется дополнительное осолонение воды над банкой, которое может быть обеспечено при локальном образовании морского льда. В этом случае температура воды в однородной толще воды над банкой оказывается близка к точке замерзания, что наблюдалось в прошлом. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в более теплом климате роль морского льда в зимней трансформации термохалинной структуры вод над Центральной банкой противоположна той, что была в климатических условиях, характерных для второй половины прошлого века: приносимый в район банки морской лед блокирует конвекцию, благодаря чему температура воды в «куполе» оказывается выше, чем наблюдавшаяся в более холодном климате 20-го века.

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ 19-17-00110.

ОЦЕНКА ФАЗОВОЙ СКОРОСТИ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В АРКТИКЕ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Козлов И.Е., Михайличенко Т.В.

МГИ, Севастополь, Россия
igor.eko@gmail.com

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, спутниковая радиолокация морской поверхности, фазовая скорость внутренних волн, контактные измерения, Арктика.

Короткопериодные внутренние волны (КВВ) являются важным элементом динамической структуры океана и влияют на его «среднее» состояние путем вертикального перемешивания, горизонтального и вертикального переноса импульса и энергии.

Основным инструментом исследования характеристик КВВ из космоса являются спутниковые радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА), данные которых позволяют определять различные пространственные характеристики КВВ и районы их генерации. Одной из важнейших динамических характеристик КВВ является фазовая скорость их распространения. По спутниковым измерениям оценить фазовую скорость КВВ можно косвенно или напрямую. В первом случае оценка возможна на основе РСА измерений с низкой повторяемостью съемок над одним и тем же районом (>12 часов), когда на одном снимке отображаются последовательные пакеты КВВ. Измеряя расстояние между положением лидирующих волн в соседних пакетах и предполагая их приливную генерацию в одном и том же месте с частотой доминирующей приливной компоненты (для Арктики это лунный полусуточный прилив M2 с периодом 12,4 часа) находится значение фазовой скорости. В случае, если реальная частота генерации наблюдаемых волн будет иной, метод будет давать ошибочные значения. Альтернативным способом определения фазовой скорости КВВ является ее оценка по пространственному сдвигу проявлений КВВ в паре последовательных изображений, выполненных с небольшой задержкой по времени (<1-2 часов). Ранее

эта методика не редко использовалась для определения значений фазовой скорости КВВ в низких широтах, где помимо РСА данных для этих целей могут быть использованы данные видимого диапазона. Для полярных районов Мирового океана ранее такие оценки не выполнялись из-за низкой повторяемости наблюдений исторических РСА миссий и интенсивной облачности, ограничивающей применение данных оптического диапазона.

В настоящей работе на основе анализа последовательных изображений Sentinel-1A и 1B приводятся примеры определения фазовой скорости КВВ в различных районах Арктики различными способами. Полученные «прямые» оценки сопоставляются с теоретическими и обсуждаются перспективы использования спутниковой информации для определения характеристик вертикальной стратификации верхнего слоя океана.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ № 21-17-00278 и государственного задания 0555-2021-0003.

НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ О МОРСКИХ ТЕЧЕНИЯХ У БЕРЕГОВ ЗАПАДНОЙ КАМЧАТКИ

Коломейцев В.В.[1], Горин С.Л.[2]

[1]КамчатНИРО, г. Петропавловск-Камчатский, Россия
[2]ВНИРО, г. Москва, Россия

Ключевые слова: шельф, прибрежная зона, динамика вод, морские течения, Западная Камчатка, Охотское море.

Течения Охотского моря изучаются уже более 100 лет. По литературным источникам, к настоящему времени для шельфа Западной Камчатки установлено следующее. Вдоль берегового склона (над глубинами >150–200 м) с юга на север действует постоянное Западно-Камчатское течение (ЗКТ). Между ЗКТ и берегом над глубинами >50–100 м периодически появляется направленное на юг Компенсационное течение (КТ). О течениях над меньшими глубинами, то есть в прибрежной полосе шириной до 30-50 км от берега, практически ничего не известно.

В августе 2008 и июле 2011 гг. на шельфе Западной Камчатки были запущены три буя-дрифтера поплавкового типа, оснащенные терминалами ARGOS, произведенные «Марлин-Юг» (г. Севастополь). (Насколько нам известно, до сих пор это остается единственным примером запуска буёв в данном районе). По условиям предшествующей зимы 2008 г. был близким к норме, а 2011 г. – теплым. В пределах рассматриваемого участка прибрежной зоны (~250 км между устьями рек Большая Воровская на юге и Сопочная на севере) все буи дрейфовали от 3 до 4 недель. Большую часть пути они прошли в 3–5 км от берега в генеральном направлении на север. Среднесуточные скорости дрейфа за рассматриваемые периоды составили около 14 см/с в 2008 г. и 10 см/с в 2011 г. При движении буи сильно отклонялись от генерального направления, иногда в противоположную сторону. Соотнесение данных дрейфа буев с данными атмосферного реанализа ERA5 (ECMWF) показало тесную связь между скоростью и направлением дрейфа и соответствующими характеристиками ветра – коэффициенты корреляции составили ~0,6–0,9.

Скорости дрейфа буев были сопоставлены с разными наборами океанографических данных, которые находятся в открытом доступе в сети Интернет: Globcurrent (спутниковая альтиметрия с учетом дрейфовой составляющей); C-GLORS05, GloSea5, GLORYS2V4, ORAS5 и FORA-WNP30 (реанализы на основе численных моделей океана, ассимилирующих данные спутниковых и натурных наблюдений за температурой, соленостью, ледяным покровом и уровнем моря, с использованием атмосферного реанализа). Выяснилось, что все расчетные инструменты правдоподобно описывают направление генерального дрейфа буев, но при этом в 2–3 раза занижают значения скорости. Наиболее подходящим инструментом для дальнейшей работы был признан Globcurrent. По его данным были рассчитаны средние за многолетний период (1993–2020 гг.) векторы скорости течений на шельфе Западной Камчатки для июля–сентября. Оказалось, что в эти месяцы на рассматриваемом участке преобладает вдольбереговой перенос вод на север. То есть, в данном случае, результаты дрейфа буев отразили климатические закономерности динамики поверхностных вод, а не стали следствием редкого стечения обстоятельств.

Таким образом, в непосредственной близости от берегов Западной Камчатки (между устьями рек Б. Воровская и Сопочная) в теплый период года действует течение, направленное на север. Пока не ясно, можно ли его считать самостоятельным течением или оно является ветвью ЗКТ. В дальнейшем необходимо понять причины имеющегося сейчас занижения расчетной скорости течения. После этого можно будет выяснить вклад отдельных составляющих в обнаруженное течение, а также его пространственно-временную изменчивость и связь с ЗКТ и КТ.

Благодарности. Данные по буям предоставлены ООО «Экологическая Компания Сахалина» (г. Южно-Сахалинск). Отдельная благодарность ее сотруднику А.О. Бобкову за полезные консультации.

О ЗАРОЖДЕНИИ И ВРЕМЕНАХ ЖИЗНИ ОБРУШЕНИЙ ВЕТРОВЫХ ВОЛН

Кориненко А.Е., Малиновский В.В., Дулов В.А., Кудрявцев В.Н.

МГИ, г. Севастополь, Россия
korinenko.alex@gmail.com

Ключевые слова: обрушения ветровых волн, морские натурные исследования, модуляция обрушений длинными волнами, время жизни обрушения.

Обрушения ветровых волн (ОВВ) играют важную роль в процессах на морской поверхности – газообмене между океаном и атмосферой, диссипации волновой энергии, генерации турбулентности в приповерхностном слое моря. Учет рассеяния электромагнитных волн на обрушениях важен при анализе данных дистанционного зондирования океана, в особенности радиолокационных.

Длинные поверхностные волны, индуцируя модуляцию коротких ветровых волн, вызывают и модуляции их обрушений. Этот эффект важен в приложениях, поскольку приводит к проявлениям длинных волн в полях характеристик обрушений и связанных с ними параметров морской поверхности, например, в

поле сечения обратного радиолокационного рассеяния. Исследования модуляции обрушений так же важны для изучения ветроволнового взаимодействия.

Отклик ОВВ на длинную волну характеризуется модуляционной передаточной функцией. Экспериментальные оценки МПФ доли морской поверхности, покрытой обрушениями ветровых волн очень малочисленны. Согласно полученным результатам сформированные обрушения локализуются, в основном, вблизи гребней длинных ветровых волн и несколько смещены на задний склон (около 7°).

Вопрос о месте начала формирования обрушений остается открытым. Нам не удалось найти работ, в которых было бы рассмотрено на какой фазе длинной волны оно начинает формироваться. Исследование пространственного распределения областей возникновения обрушений – это один из подходов к изучению динамики самих ветровых волн (эволюции ветровых волн на течениях).

Целью настоящей работы является анализ распределения начальных моментов формирования барашка вдоль профиля длинной волны.

Экспериментальное исследование влияния доминирующих поверхностных волн на пространственное распределение ОВВ было выполнено в октябре 2018 г. на Стационарной океанографической платформе в Голубом заливе, пгт Кацивели, Крым. Для определения положения начальных моментов зарождения обрушения вдоль профиля доминантной волны в поле зрения видеокамеры находился волнограф. Синхронизация видеоряда и возвышений морской поверхности была осуществлена с точностью не хуже 1 мс путем записи его данных в единый файл на персональном компьютере вместе со звуковым рядом видеокамеры.

Выполненный анализ показал, что влияние доминантных волн на обрушения приводит к сильным модуляциям обрушивающихся волн. Начальная фаза обрушений концентрируются в области гребня длинных волн и подавляются в районе их впадины.

Полученные результаты о положении начала зарождения барашка показали, что обрушения возникают преимущественно в районе гребня длинной волны и смещены на ее передний склон на 9,6°. В то же время, максимум доли поверхности, покрытой

обрушениями, смещен по фазе длинной волны на 11,6° на задний склон. Таким образом, барашек возникает на переднем склоне длинной волны и перемещается на ее задний склон, смещаясь за время жизни на ~21°.

Настоящее исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-17-00236, https://rscf.ru/project/21-17-00236/, используемые архивные данные получены в рамках государственного задания 0555-2021-0004.

БИООПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ В АПРЕЛЕ–МАЕ 2021 ГОДА

Корчемкина Е.Н., Маньковская Е.В., Райкина А.О.

МГИ, г. Севастополь, Россия
korchemkina@mhi-ras.ru

Ключевые слова: коэффициент яркости, показатель ослабления света, показатель рассеяния, показатель обратного рассеяния, Черное море.

По данным натурных измерений, проведенных в 116-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (22.04 – 17.05.2021), получены пространственные распределения оптических характеристик поверхностного слоя моря: спектрального коэффициента яркости, показателя ослабления направленного света, глубины видимости белого диска. Проведено сопоставление измеренных спектров коэффициента яркости со спутниковыми данными.

По своим оптическим характеристикам исследуемый полигон можно разделить на следующие зоны: прибрежная зона Крыма с глубинами до 200 м, прибрежная зона Кавказа с глубинами до 300 м, центральная глубоководная часть.

Между глубоководной центральной частью и прибрежной зоной Крыма различий по значениям коэффициента яркости не выявлено. Коэффициент яркости в максимуме достигал 3,3 ± 0,5 %, глубина видимости белого диска составляла 8 м. Форма спектра

коэффициента яркости типичная для Черного моря, с максимум вблизи 490 нм.

По оптическим характеристикам выделяется только прибрежная зона Кавказа, подверженная сильному влиянию речного стока. В ней значения коэффициента яркости в максимуме составляли 4,1 ± 0,6 %, глубина видимости белого диска – 3 м. Форма спектра показывает сильное влияние взвеси и органических веществ, максимум смещен в сторону длинных волн до длины волны 506 нм.

С привлечением данных о показателе ослабления света, а также при помощи полуаналитического алгоритма рассчитаны биооптические характеристики, такие как показатели рассеяния и поглощения примесями, концентрация хлорофилла, которые затем сопоставлялись со спутниковыми данными.

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам № 0555-2021-0003 и № 0555-2021-0005.

СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЫСОТЫ ВЕТРОВЫХ ВОЛН В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

Круглова Е.Е.[1], Мысленков С.А.[2]

[1]РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия
[2]МГУ, г. Москва, Россия
lissavetaandin@gmail.com

Ключевые слова: ветровые волны, штормовая активность, моделирование волнения, Каспийское море, WAVEWATCH III.

Грузооборот морских портов Каспийского бассейна за первые 5 месяцев 2021 года вырос в 1,5 раза по сравнению с аналогическим периодом в 2019 г. и составил 3,1 млн тонн. Месторождения нефти на шельфе Каспийского моря имеют большое значение и будут интенсивно развиваться, вследствие чего изучение особенностей режимных и экстремальных характеристик ветрового волнения является важной и актуальной задачей.

Для анализа ветрового волнения в Каспийском море применялась волновая модель WAVEWATCH III. В качестве входных данных о ветре использовались данные реанализа NCEP/CFSR/CFSv2 за период с 1979 по 2020 гг. (шаг по пространству ~0,2–0,3°, шаг по времени 1 час). Поля льда были взяты из базы OSI-450 и реанализа NCEP/CFSv2.

Вычисления проводились на неструктурной сетке с шагом около 10 км в открытой части Каспийского моря и до 1–2 км в прибрежной зоне, общее количество узлов 17529.

В результате расчетов был получен ряд данных о параметрах волнения за период с 1 января 1979 г. по 31 декабря 2020 г. с шагом по времени 3 часа. В данной работе анализировалась значительная высота волн. По данным моделирования были найдены максимальные и средние значения высот волн для разных частей Каспийского моря в различные сезоны года.

Максимальные значения высот волн характерны для сезона декабрь-февраль. В Среднем Каспии наблюдается абсолютный максимум высоты волны 8,17 м, в Северном около 2 м, а в Южном ~ 7 м. Наибольшие средние многолетние значения высот волн наблюдается в Среднем Каспии и составляет 1,36 м. В Северном Каспии средние высоты волн около 0,2 м, а в Южном 0,6–1 м.

Также была проанализирована штормовая активность за период с 1979 по 2020 г. Из данных моделирования по методу peak over threshold были выбраны шторма с высотой волн более 3 м для Среднего и Южного Каспия, и шторма с высотой более 2 м для Северного.

В Северном Каспии наблюдается в среднем 1 шторм (более 2 м) в год, значимого тренда не обнаружено.

В Среднем Каспии в среднем 37 штормов (более 3 м) в год. Тренды количества штормов высотой более 3-5 м проверялись на значимость. В результат для всех критериев 3-5 м тренд нелинейный значимый. С 1979 г. наблюдается падение числа штормов, а с 1993–1994 гг. наблюдается рост. Линейный положительный тренд значим для штормов 3 и 4 метров. Величина тренда для штормов высотой более 3 метров составляет 2 шторма/ 10 лет.

В Южном Каспии наблюдается в среднем 9 штормов (более 3 м) в год, значимых трендов не обнаружено. Существует незначимый отрицательный линейный тренд для штормов с высотой 4 и 5 метров.

В результате получено, что наиболее высокие волны наблюдаются в зимний период в Среднем Каспии. Обнаружены значимые нелинейные тренды в Среднем Каспии.

Работа выполнены. при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-80088.

ВЛИЯНИЕ КРОСС-ШЕЛЬФОГО ОБМЕНА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ СУБМЕЗОМАСШТАБНОЙ ДИНАМИКИ В ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Кубряков А.А., Пузина О.С., Мизюк А.И.

МГИ, г. Севастополь, Россия
arskubr@ya.ru

Ключевые слова: субмезомасштабные вихри, математическое моделирование, бароклинная неустойчивость, кросс-шельфовый обмен.

Субмезомасштабная динамика – промежуточное звено между крупномасштабной, синоптической (далее мезомасштабной) динамикой вод и мелокмасштабной турбулентностью. Обладая малыми размерами и достаточно высокими орбитальными скоростями субмезомасштабные вихри характеризуются крайне высокими значениями завихренности и вертикальной скоростью. Интенсивный вертикальный и горизонтальный обмен в этих образованиях может значительно влиять на транспорт примесей и протекание биологических процессов в верхнем слое океана

Субмезомасштабная динамика характеризуется значительной сезонной и межгодовой изменчивостью [1]. В зимний период она интенсифицируется из-за влияния неоднородности конвективного и ветрового перемешивания В настоящей работе исследуются причины возникновения максимумов субмезомасштабной энергии в глубоководной части Черного моря в теплый период. На основе данных численного моделирования и спутниковых из-

мерений показано, что образование СЦВ значительно интенсифицируется при наличии процессов кросс-шельфового обмена, которые вызывают резкий рост градиентов плотности. Наиболее часто образования субмезомасштабных циклонических вихрей (СЦВ) наблюдается на одной из периферии синоптических антициклонов [2, 3], той, скорости в которой направлены от берега. Анализ показывает, что важнейшим процессом, приводящим к образованию СЦВ на периферии синоптических антициклонов является бароклинная неустойчивость возникающая в результате адвекции опресеннных шельфовых вод, обладающих значительно меньшей плотностью.

Этот процесс также приводит к асимметрии в перемешивании на периферии вихрей. В зоне захвата шельфовых вод интенсивность турбулентных движений будет значительно более выражена. В результате разнородных вертикальных и горизонтальных движений, связанных с субмезомасштабными вихрями, вовлеченные опресненные воды будут быстро перемешиваться с окружающими Такой процесс может объяснить быстрое уменьшение концентрации хлорофилла А при вихревой кросс-шельфовой адвекции, наблюдающеее по спутниковым измерениям.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 21-77-10052.

1. Пузина, О. С., Кубряков, А. А., & Мизюк, А. И. (2021). Сезонная и вертикальная изменчивость энергии течений в субме-зомасштабном диапазоне на шельфе и в центральной части Черного моря. Морской гидрофизический журнал, 37(1), 41-56.

2. Aleskerova, A., Kubryakov, A., Stanichny, S., Medvedeva, A., Plotnikov, E., Mizyuk, A., & Verzhevskaia, L. (2021). Characteristics of topographic submesoscale eddies off the Crimea coast from high-resolution satellite optical measurements. Ocean Dynamics, 1-23.

3. Zatsepin, A., Kubryakov, A., Aleskerova, A., Elkin, D., & Kukleva, O. (2019). Physical mechanisms of submesoscale eddies generation: evidences from laboratory modeling and satellite data in the Black Sea. Ocean Dynamics, 69(2), 253-266.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА «А» ПО ДАННЫМ БУЕВ БИО-АРГО В РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНАХ ЮЖНОГО ОКЕАНА

Кубрякова Е.А., Кубряков А.А.

МГИ, г. Севастополь, Россия
elena_kubryakova@mail.ru

Ключевые слова: Южный океан, хлорофилл «а», Био-Арго.

Расширение существующих представлений о распределении характеристик фитопланктона необходимо для эффективного освоение ресурсов Южного океана. Основными недостатками выполненных биологических исследований в Южном океане/Антарктике на данным момент являются крайняя ограниченность данных, их пространственная и временная неоднородность, отсутствие комплексных наблюдений за всеми элементами экосистем, круглогодичных циклов наблюдений, охватывающих летнюю и зимнюю стадии развития фитопланктонных сообществ.

Вместе с запуском проекта Био-Арго в 2010 г. в Южном океане, стали доступны измерения всплывающих буев типа Арго с установленными на них биооптическими приборами. Эти данные впервые дали возможность получать непрерывные одновременные измерения физических (температура, соленость), биооптических (нисходящая освещенность, фотосинтетически активная радиация (ФАР), флуоресценция хлорофилла «а» (*Chl*), показатель рассеяния назад) и биогеохимических параметров (концентрация кислорода, нитратов, pH) в глубоководной части океанов с высоким вертикальным разрешением (1 м).

В настоящей работе на основе спутниковых данных и измерений 119 буев Био-Арго впервые проведено исследование особенностей пространственно-временной изменчивости вертикального распределения концентрации *Chl* за период с 2008 по 2019 гг. в различных районах Южного океана на широтах 40–80° ю. ш. По спутниковым измерениям *MODIS* за 2003–2019 гг. анализировалось время наступления максимума и минимума сезон-

ного хода концентрации *Chl*. На основе этого анализа исследуемая область была разделена на три зоны: умеренные широты с пиком концентрации *Chl* в июне, субантарктическая зона с пиком концентрации *Chl* в декабре–январе и антарктическая зона с пиком концентрации *Chl* в марте. Далее на основе данных буев Био-Арго в этих зонах были исследованы особенности сезонного хода вертикального распределения концентрации *Chl* и их связь с условиями перемешивания, освещенности. На основе проведенного анализа показано, что во всех этих зонах развивается мощный подповерхностный максимум, нижняя граница которого определяется сезонной изменчивостью освещенности. Наиболее характерной чертой изменчивости в субантарктической и антарктической зонах являются резкий минимум в зимний период, связанный с заглублением верхнего квазиоднородного слоя (ВКС). На основе проведённого анализа квазисинхронных измерений концентрации *Chl* и ФАР определены характеристики освещенности в ВКС, которые приводит к резкому падению концентрации *Chl*. В работе также исследована межгодовая изменчивость концентрации *Chl* в Тихоокеанской, Атлантической и Индоокеанской части Южного океана, определены особенности и исследованы различия в этой изменчивости.

Работа выполнена в рамках гос. задания № 0555-2021-0003.

ПРОФИЛИ ОПТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В АЗОВСКОМ МОРЕ ПО ДАННЫХ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В 106 РЕЙСЕ НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ» ВЕСНОЙ 2018 ГОДА

Кудинов О.Б., Суслин В.В.

МГИ, г. Севастополь,
Kudinov_ob@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Азовское море, профили био-оптических характеристик, окрашенная компонента растворённого органического вещества, рассеяние под углом 90 град.

С помощью аппаратуры разработанной в отделе Оптики и Биофизики Моря Морского Гидрофизического института [1,2], в период с 30 апреля по 11 мая 2018 г. в 106 рейсе НИС «Профессор Водяницкий», были выполнены одновременные измерения профилей флюоресценции растворённого органического вещества и рассеяния света под углом 90 град. Измерения проводились на стандартной сетке станций, охватывающей шельфовую и глубоководную части Чёрного моря вдоль берегов Крыма и Кавказа. Измерения проводились в зондирующем режиме. На каждой станции в течение 15 минут – с постоянной скоростью, до глубины 90–100 м с использованием мини-лебёдки.

Проведённый статистический анализ полученных профилей отдельно для каждого из двух параметров показал, что характер изменчивости совпадает с тем, который был получен ранее при анализе аналогичных измерений, выполненных био-арго буями в Чёрном море в рассматриваемом интервале времени [3]. Статистический анализ профилей состоял из следующих последовательных шагов: (1) выделение из каждого профиля 14 слоёв по 5м в глубинах от 0 до 70 м и получение средних значений по всем измерениям в каждом слое, (2) расчёт среднего профиля и ковариационной матрицы для всех 58 станций, (3) расчёт собственных векторов и собственных значений ковариационной матрицы. В результате анализа собственных значений ковариационной матрицы было показано, что среднее значение профиля и два первых собственных вектора обеспечивают описание 80–90 % их наблюдаемой изменчивости, что совпадает с результатами работы [3]. Для обоих параметров проведено сравнение средних профилей и их первых двух собственных векторов, полученных по измерениям в 106 рейсе, с аналогичными характеристиками, полученными по данным измерений профилей био-арго буёв. Между сигналом флюоресценции растворённого органического вещества и концентрации окрашенной компоненты органического вещества наблюдается удовлетворительное соответствие. Различия между показателем обратного рассеяния света частицами взвеси (био-арго буи) и рассеянием света на 90 градусов обсуждаются.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ № 0555-2021-0003.

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. Kudinov O.B., Martynov O.V., Lee R.I. Sounding spectral meter of fluorescence and light scattering: laboratory and field testing. Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika. 2020, 13, 2, 82–87. doi: 10.7868/S2073667320020100.

3. Suslin V.V. , Slabakoba V., Churilova T.Ya., Dzhamalov M.O. 4D IOPs profiles of upper 70 m layer of the Black Sea: bio-argo floats and ocean color satellite products // Proc. SPIE 11208, 25th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 112081K (18 December 2019); doi: 10.1117/12.2540301.

НЕЛИНЕЙНЫЙ АНАЛИЗ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ШТОРМОВИТОСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Кузнецов С.Ю., Сапрыкина Я.В.

ИО РАН, г. Москва, Россия
kuznetsov@ocean.ru
saprykina@ocean.ru

Ключевые слова: Черное море, волновой климат, климатические индексы, годовые максимальные высоты волн, спавлет-анализ.

Изменчивость волнового климата важна для выработки оптимальной долгосрочной стратегии развития прибрежных территорий. Соблазнительно предсказывать декадные и мультидекадные изменения штормовитости на основе ее корреляции с климатическими индексами, например, с NAO и AMO. Однако коэффициенты корреляции между этими климатическими индексами и максимальными годовыми высотами ветровых волн и зыби в Черном море за последние 60 лет на многолетних масштабах не превышают величины 0.5, что маловато для достоверного прогноза флуктуаций и трендов штормовитости.

Причина столь слабой корреляционной связи кроется в нестационарной структуре изменчивости климатических индексов и нелинейности связи штормовитости и климата. Пики спектров флуктуаций климатических индексов и максимальных годовых высот волн не совпадают, что и является причиной низких их корреляций. Детальный анализ структуры флуктуаций климатических индексов путем спавлет-анализа (построения спектров модулей вейвлет-коэффициентов каждого частотного масштаба) показал, что практически все флуктуации различных масштабов климатических индексов модулированы по амплитуде с периодом около 40-50 лет. По аналогии с квадратичной зависимостью высот волн от скорости ветра, хорошо известной всем яхтенным капитанам, можно предположить наличие квадратичной связи и между климатическими индексами и максимальными годовыми высотами волн. Такое нелинейное квадратичное преобразование флуктуаций климатических индексов приводит к появлению в спектрах максимальных годовых высот волн пиков на комбинационных (суммарных и разностных) частотах и к отсутствию пиков, имеющихся в спектрах климатических индексов. Совпадение по частоте и величине спектральной плотности пиков спектра квадрата климатических индексов и максимальных годовых высот волн дает надежду на успешный прогноз штормовитости на основе ее квадратичной зависимости от климатических изменений, важный для рационального менеджмента береговых зон Черного моря.

АНАЛИЗ СНИМКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ СО СПУТНИКОВ AQUA/TERRA (2000 – 2021), LANDSAT-8, SENTINEL-2, ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ЗАПОЛНЕНИЯ ВОДОЙ С ЮГА ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БЫВШЕГО АРАЛЬСКОГО МОРЯ

Кузьмичёва Т.Ф.

МГИ, г. Севастополь, Россия
TFK12.93@yandex.ru

Ключевые слова: Аральское море; заполнение водой с юга; спутники Aqua/Terra, Landsat-8, Sentinel -2.

В настоящей работе представлены результаты анализа снимков, полученных со спутников Aqua/Terra (2000–2020), Landsat-8 (2013–2020) и Sentinel-2 (2017–2020). Анализ снимков Aqua/Terra (2000–2020) показал, что в 2010, 2012, 2015 и 2017 гг. на юге Восточного Арала появлялся поток воды, который заполнял собою Восточный Арал. Скорости движения передней границы этого потока в разные годы и в разные сезоны одного и того же года отличались друг от друга. В среднем они менялись от 88 до 550 м/ч. Площадь зеркала водоёма, образованного потоком, варьировалась от 1761 км^2 (2012) до 5673 км^2 (2010). В 2015 г. она была такой же, как в 2008 г., и составляла примерно 3140 км^2. Для детального изучения данного явления были проанализированы снимки, полученные со спутников Landsat-8 и Sentinel-2. Анализ этих снимков показал, что заполнение водой Восточного Арала с юга (появление потока, его развитие и затухание) хорошо согласуется с различными фазами полноводности р. Амударьи. Другими словами, этот поток появлялся за счёт сброса вод Амударьи. В 2012, 2015 и 2017 гг. возникновение потока, его развитие и затухание происходило по одному и тому же сценарию. Анализ снимков, полученных со спутников Landsat-8 и Sentinel-2, показал так же, что на юге Восточного Арала появилось постоянное русло небольшой речки, текущей с юга на север вдоль меридиана 59,65° в. д. Начало ей дают два слившиеся в один ручейка, истоки которых на снимке не видны, но находятся они недалеко от северной границы бывшего залива Джилтыр-Бас-2. Длина речки от слияния двух ручейков до берега моря составляет около 13,5 км. При впадении в Восточный Арал речка образует разветвлённую дельту. Из этого ручейка натекает небольшое озеро площадью примерно 120 км^2. Координаты его центра тяжести приблизительно 44,16° с. ш., 59,7° в. д. Впервые озеро образовалось 07.07.2002 и просуществовало чуть более трёх недель – до конца июля 2002 г. В таблице, приведённой в статье, зафиксированы все случаи его появления с 2000 по 2020 г. Поток воды, описанный выше, появлялся в районе этого озера.

ОСОБЕННОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЩЕГО ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИЙ НА НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»

Латушкин А.А., Федирко А.В., Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А., Кудинов О.Б.

МГИ, г. Севастополь, Россия
sevsalat@gmail.com

Ключевые слова: общее взвешенное вещество, температура, соленость, плотность, верхний квазиоднородный слой, Черное море.

На основе массива гидролого-гидрооптических данных, полученного для северной части Черного моря в период с 2016 по 2020 гг. в экспедициях НИС «Профессор Водяницкий», выявлены общие закономерности распределений оптических и гидрологических характеристик, которые не зависят от их временной изменчивости. Массив включает более 1000 вертикальных профилей концентрации общего взвешенного вещества, температуры, солености, плотности для разных сезонов года. Измерения гидрологических параметров проводились зондирующим CTD-комплексом Sea-Bird 911plus. Концентрация общего взвешенного вещества рассчитанная по измерениям показателя ослабления направленного света (ПОС) на длине волны 625 нм (ПОС(625)) на основе эмпирического соотношения $C_{овв}$ = 1,5×ПОС(625) − 0,23, полученного для исследуемой акватории. Измерения ПОС выполнялись спектральным измерителем, разработанным в ФГБУН ФИЦ МГИ РАН.

По данным комплексных измерений рассчитаны коэффициенты линейной связи R между горизонтальными полями концентрации общего взвешенного вещества и термохалинными параметрами. Выявлено, что в вертикальном распределении этих коэффициентов существует двухслойная структура с устойчивым минимумом связей ниже верхнего квазиоднородного слоя (ВКС),

на глубинах, где наблюдаются высокие вертикальные градиенты температуры, солености и плотности. При этом характер корреляции (прямая или обратная) выше или ниже этого минимума от экспедиции к экспедиции сохраняется. В пределах ВКС между концентрацией общего взвешенного вещества, температурой и соленостью преобладают отрицательные линейные связи, а между концентрацией общего взвешенного вещества и плотностью – положительные. Ниже основного минимума значений R в термоклине между концентрацией общего взвешенного вещества и температурой отмечаются положительные линейные связи, между концентрацией общего взвешенного вещества и полями солености и плотности – отрицательные линейные связи.

Предложены механизмы, обусловливающие особенности линейных связей между гидрологическими и гидрооптическими полями. В верхнем слое на формирование поля общего взвешенного вещества основное влияние оказывают термохалинные факторы, на распределения которых, в свою очередь, влияют процессы взаимодействия океана и атмосферы (сезонный прогрев и охлаждение, осадки), а также горизонтальная адвекция водных масс. В нижнем слое значимая связь обусловливается квазисинхронным смещением по вертикали слоев с повышенными значениями концентрации общего взвешенного вещества и температуры и пониженными значениями солености.

Выявлена зависимость толщины слоя с максимальной концентрацией общего взвешенного вещества от величины градиента температуры. Показано, что в областях, где наблюдался максимальный вертикальный градиент температуры, толщина слоя с максимальным скоплением общего взвешенного вещества может уменьшаться почти на порядок по сравнению с районами, где градиент температуры был слабо выражен.

Работа выполнена в рамках тем государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ № 0555-2021-0004 «Океанологические процессы» и № 0555-2021-0003 «Оперативная океанология».

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЦВЕТЕНИЙ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В АЗОВСКОМ МОРЕ НА ОСНОВЕ ИХ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПО ДАННЫМ MODIS

Лишаев П.Н., Кубряков А.А., Алескерова А.А.

МГИ, г. Севастополь, Россия
pavellish@mail.ru

Ключевые слова: цианобактерии, спутниковые наблюдения, MODIS, Landsat, Азовское море.

На основе сопоставления данных среднего разрешения MODIS и высокого разрешения Landsat был выполнен анализ особенностей оптических спектров в области цветения цианобактерий (ЦБ). На основе предложенного алгоритма была исследована пространственная, сезонная и межгодовая изменчивости цветений ЦБ за период 2003 – 2019 гг., особенности их эволюции и распространения в отдельные годы.

Анализ «характерных» спектров ЦБ позволил разработать набор флагов для алгоритма автоматической идентификации ЦБ по данным сканера MODIS. Флаги были подобраны таким образом, чтобы избежать детектирования ложных цветений. Каждый из флагов тщательно подбирался и проверялся на всем массиве данных MODIS за 2003–2019 гг.

На основе разработанного алгоритма были построены карты вероятности наблюдения ЦБ. Карта вероятности наблюдения ЦБ в Азовском море показала, что наиболее часто ЦБ отмечаются в Таганрогском заливе, поскольку гидрологические условия в этом районе наиболее благоприятны для их развития. Это подтверждается и данными биологических наблюдений. Однако, под действием течений, области цветения могут распространяться далеко вдоль восточного или западного берегов моря, откуда затем могут проникать в центральную часть моря. При этом наиболее встречаемое направление распространения южное – вдоль юго-восточного берега.

Сезонный ход вероятности наблюдения ЦБ в Азовском море характеризуется наибольшими значениями с июня по октябрь, с выраженным пиком в августе, что согласуется с результатами анализа спутниковых данных высокого разрешения. Наименьшие значения наблюдаются в зимние месяцы, с декабря по март. Среднемесячные климатические карты вероятности наблюдения ЦБ показали, что цветение обычно начинается в марте в Таганрогском заливе, откуда под действием циклонической циркуляции ЦБ переносятся на запад. В результате, в весенние месяцы чаще цветению подвержены воды северного побережья. В июне–июле ЦБ от выхода из Таганрогского залива начинают интенсивно распространяться на юг.

Предложенный спектральный алгоритм идентификации позволил оценить межгодовую изменчивость площади, занятой цветениями ЦБ в Азовском море за период 2003–2019 гг. В межгодовой изменчивости выделяется период 2004–2011 гг. с высокими значениями площадей цветения ЦБ, за которым следует резкое снижение в 2011–2020 гг. Максимальное количество ЦБ наблюдалось в 2008 г. Также было проанализировано влияние на временную изменчивость цветения ЦБ таких физических факторов как ветровое воздействие и речной сток.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-05-80025 «Опасные явления» и РФФИ №20-35-70034 «Стабильность».

ОПЫТ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА БАЗЕ ОБЛАЧНОЙ ПЛАТФОРМЫ GOOGLE EARTH ENGINE

Матросова Е.Р., Замшин В.В., Чверткова О.И.

НИИ «АЭРОКОСМОС», г. Москва, Россия
ematrosova95@gmail.com

Ключевые слова: космические изображения, дистанционное зондирование, дешифрирование, облачные технологии, мониторинг акваторий, морская поверхность, геоинформационные системы.

Современные исследования Мирового океана предполагают использование данных дистанционного зондирования и сформированных на их основе информационных продуктов (полей распределений значимых параметров водной среды, карт обнаружения объектов интереса и т. д.). Для решения некоторых тематических задач информационные продукты формируются с использованием такого метода обработки данных как визуальное дешифрирование, которое позволяет обнаруживать на космических изображениях явления и процессы, автоматическая идентификация которых затруднена (например, нефтегазопроявления). При выполнении визуального дешифрирования значительных объемов космических изображений возникает ряд проблем, основные из которых - зависимость выносимых оценок от уровня квалификации оператора, низкая скорость обработки данных, издержки на подготовку данных к дешифрированию и систематизацию получаемых результатов. В настоящем исследовании осуществлена попытка решения указанных проблем.

Цель работы - апробация и предварительная оценка эффективности дешифрирования космических изображений морской поверхности, выполняемого одновременно несколькими операторами в облачной инфраструктуре Google Earth Engine. Для достижения поставленной цели была разработана методика и программная реализация многопользовательского дешифрирования. Методика прошла апробацию в ходе дешифрирования нефтегазопроявлений на морской поверхности в акваториях Чёрного и Каспийского морей, при этом 5 операторов выполнили обработку 1985 изображений Sentinel-1A/B, 4018 изображений Sentinel-2A/B и 424 изображения Landsat-8, в результате чего было обнаружено 5847 объектов интереса общей площадью ~23 тыс. км^2.

Основными особенностями предложенной методики являются: отсутствие необходимости загрузки космических изображений на локальный ресурс, автоматизация процессов поиска и предварительной обработки релевантных исходных данных, возможность коллективной работы над проектом с удаленных рабочих мест, взаимная заверка и комплексирование результатов дешифрирования с получением итогового результата на основании

учёта решений нескольких операторов с различным уровнем квалификации, автоматическое определение и систематизация значимых параметров объектов интереса (площадь, периметр, спектральные свойства).

Апробация дала положительный эффект. В сравнении с традиционным подходом к дешифрированию были отмечены снижение объемов выгружаемых данных до ~90 %, сокращение временных затрат на обработку космических изображений примерно в ~5 раз, предотвращение ошибочной идентификации ~20 % объектов дешифрирования.

Исследование выполняется при поддержке Минобрнауки России, уникальный идентификатор темы FNEE-2021-0002.

СИНОПТИЧЕСКИЕ И МЕЗОМАСШТАБНЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ЧЕРНОГО МОРЯ: СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ, ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ

Медведев И.П.

ИО РАН, г. Москва, Россия
medvedev@ocean.ru

Ключевые слова: уровень моря, сгонно-нагонные явления, Черное море, дисперсия колебаний, статистика экстремальных значений, распределение Гумбеля.

На основе длительных ежечасных рядов наблюдений были изучены особенности пространственной и временной изменчивости синоптических и мезомасштабных колебаний уровня Черного моря. К синоптическому диапазону изменчивости относятся колебания уровня моря с периодами от 2 сут до 30 сут, к мезомасштабному – от 2 ч до 2 сут. Наибольший энергетический вклад в синоптический диапазон изменчивости вносят сгонно-нагонные колебания уровня, генерация которых связана с атмосферными

процессами естественного синоптического периода. Мезомасштабная изменчивость уровня Черного моря определяется, в первую очередь, собственными частотами моря и заливов.

Для анализа использованы длительные ряды ежечасных наблюдений на 28 прибрежных мареографах, расположенных вдоль побережья всего моря. Для оценки дисперсии синоптических и мезомасштабных процессов с помощью быстрого преобразования Фурье (метод Уэлча) для каждого календарного года или месяца наблюдений по каждой станции были рассчитаны спектры колебаний уровня моря. Дисперсия синоптических и мезомасштабных колебаний уровня моря оценивалась как сумма значений спектральной плотности внутри соответствующего диапазона изменчивости.

На основе длительных данных максимальных и минимальных месячных значений уровня были исследованы экстремальные колебания уровня Черного моря. В результате статистического анализа были получены максимальные и минимальные значения уровня Черного моря на различных станциях за рассматриваемый период наблюдений. Выявлено, что максимальных размах экстремальных колебаний уровня наблюдается в северо-западной части Черного моря: до 200 см на станциях Николаев и Хорлы. На восточном побережье Черного моря максимальный размах составляет 70-90 см (до 119 в Сочи), а на крымском побережье Черного моря – 56-71 см. Важно отметить, что на большом количестве станций в северо-западной части Черного моря высота экстремальных сгонов превышает высоту экстремальных подъемов.

В ходе исследований было показано, что эмпирические функции зависимости экстремального значения уровня от периода его повторяемости для сгонно-нагонных событий в Черном море хорошо аппроксимируются с помощью распределения вероятности Гумбеля. На основе статистического анализа были рассчитаны наибольшие значения экстремальных сгонов/нагонов 10-, 20-, 50-, 100-летней повторяемости.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0128-2021-0004) и при финансовой поддержке РНФ (грант № 20-77-00099).

МОРСКАЯ СЛИЗЬ И ЦВЕТЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В МРАМОРНОМ МОРЕ В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Медведева А.В., Станичный С.В., Василенко Н.В., Алескерова А.А., Кубряков А.А.

МГИ, г. Севастополь, Россия
Shift@mail.ua

Ключевые слова: кокколитофоридное цветение, фитопланктон, хлорофилл-а, морская слизь, спутниковые данные, оптические изображения, Мраморное море.

В акватории Мраморного моря практически ежегодно в весенне-летний период наблюдается увеличение биомассы фитопланктона различного видового состава. В рамках возможностей спутниковых методов выявляются кокколитофоридные цветения, цветения фитопланктона с высоким содержанием хлорофилла-а и развитие морской слизи.

В настоящей работе анализировались спутниковые данные оптического спектра высокого (MSI Sentinel-2, TM Landsat-5, ETM+ Landsat-7, OLI Landsat-8, WFV3 / WFV4 Gaofen-1, WFV Gaofen-6) и среднего (MODIS Aqua, MODIS Terra) разрешения. В отдельных случаях использовались радиолокационные изображения C-SAR Sentinel-1. Для оценки метеорологических условий привлекались данные о полях ветра на высоте 10 м – архивные наборы данных NCEP с 6-часовой дискретностью и MERRA-2 Model: Surface wind speed (M2IMNXLFO v5.12.4) с часовой дискретностью.

За период с 2010 по 2020 гг. наиболее выраженные кокколитофоридные цветения обнаруживались в 2010, 2012, 2015 и 2017 гг. с начала мая и до середины июня. Кокколитофоридное цветение также регистрируется в Черном море, чьи воды непрерывно поступают в мраморноморскую акваторию через Босфорский пролив, но обычно с середины мая до конца июня. Наиболее выраженные кокколитофоридные цветения в Черном море регистрировались в 2012, 2017, 2019 и 2020 г.

Также в Мраморном море в весенние месяцы фиксируются цветения фитопланктона с высоким содержанием хлорофилла-а. По данным MODIS Aqua (без использования региональных алгоритмов) в отдельные годы концентрация хлорофилла-а превышала 10 мг·м$^{-3}$: в 2010 г. (до 20,42 мг·м$^{-3}$), в 2012 (до 15,78 мг·м$^{-3}$), в 2015 (до 10,86 мг·м$^{-3}$) и в 2019 (до 46,56 мг·м$^{-3}$). При сопоставлении с данными о концентрации хлорофилла-а в черноморской акватории, более высокие значения в Мраморном море наблюдаются ежегодно.

С 2010 по 2021 гг. с марта по май-июнь (кроме 2014 г.) наблюдается формирование морской слизи, которая, предположительно, возникает в результате жизнедеятельности фитопланктона. Морская слизь в поверхностном слое вод или на поверхности регистрируется оптическими спутниковыми датчиками среднего и высокого разрешения в виде нитевидных структур от белого до желтого цвета в зонах конвергенции. Плавающая слизь фиксируется не только в видимом, но и в ближнем инфракрасном диапазоне, а при экстремальном развитии (как в 2021 г.) – на радиолокационных изображениях в виде областей сглаженной шероховатости.

Замечено, что морская слизь обычно существует на поверхности вод от 1 до 9 суток, но в 2021 г. она выявлялась практически непрерывно на протяжении 32 суток. При сопоставлении с гидрометеорологическими условиями обнаруживается связь с характеристиками ветра: свойство положительной плавучести морской слизи проявляется на фоне низких скоростей ветра (до 5-6 м/с.), за исключением случаев экстремального развития, когда влияние ветра на состояние морской слизи ослаблено.

Работа выполнена в рамках государственных заданий 0555-2021-0003 (исследование процессов и явлений в Мраморном море) и 0555-2021-0006 (выявление вихрей по спутниковым данным), а также при поддержке грантов РФФИ 19-05-00752 А (характеристика морской слизи) и 19-05-00479 А характеристика кокколитофоридных цветений и цветений фитопланктона с высоким содержанием хлорофилла-а).

ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПРОЛИВЕ ШОКАЛЬСКОГО НА БАЗЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СТАЦИОНАРА «ЛЕДОВАЯ БАЗА МЫС БАРАНОВА»

Меркулов В.А., Махотин М.С., Куссе-Тюз Н.А., Кузьмин С.Б., Ипатов А.Ю., Карпов М.В.

ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
vamerkulov@aari.ru

Ключевые слова: море Лаптевых, Арктика, Северная Земля, пролив Шокальского, водная масса, термохалинная структура.

Гидрологический режим прибрежных районов архипелага Северная Земля в целом и пролива Шокальского в частности изучен недостаточно хорошо. В тоже время этот район представляет большой интерес с точки зрения изучения процессов и механизмов вдоль склонового распространения и трансформации атлантической водной массы, формирования донных вод, водообмена между Карским морем и морем Лаптевых.

Имеющиеся исторические океанографические данные о распределение термохалинных характеристик в проливе Шокальского и западной части моря Лаптевых у побережья Северной Земли обладают большой временной неоднородностью (1932, 1948, 1985, 1992–1993, 2007, 2014–2016 гг.), что затрудняет изучение гидрологического режима данной акватории, особенно в условиях глобальных климатических изменений, наблюдающихся в последние два десятилетия. Ежегодные океанологические исследования, начавшиеся с 2014 г. в проливе Шокальского на базе научно-исследовательского стационара «Ледовая база Мыс Баранова» продемонстрировали значительную пространственную и временную изменчивость термохалинных характеристик.

В работе приводятся основные результаты семилетнего гидрологического мониторинга вод пролива Шокальского. В частности, рассмотрены характеристики и динамика водных масс (в особенности Атлантической водной массы), термохалинная структура вод пролива, изменчивость уровня моря.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Миронюк С.Г.[1], Ковачев С.А.[2]

[1]МГУ, г. Москва, Россия,
mironyuksg@gmail.com
[2]ИО РАН, г. Москва, Россия
kovachev@ocean.ru

Ключевые слова: сейсмологический мониторинг, донные сейсмографы, микроземлетрясения, Черное море.

В 2011 г. Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН выполнял сейсмологический мониторинг в западной части Черного моря. Мониторинг проводился для получения записей морских землетрясений, необходимых для оценки сейсмической опасности проекта Южный поток. Было использовано 4 донных сейсмографа конструкции ИО РАН, продолжительность наблюдений составила 1,5 месяца.

Координаты эпицентров, глубины очагов и магнитуды этих 73 местных землетрясений определялись с помощью программы HYPO-71. Времена вступлений продольных и поперечных волн на разных станциях, а также файлы, содержащие данные о скоростном строении земной коры и координаты сейсмических станций, являются входными данными для программы HYPO-71. С помощью этой программы рассчитываются также, ошибки их вычисления и время в очаге землетрясения.

Для расчета магнитуд землетрясений по записям землетрясений использовалась длительность сигналов и соотношение вида: $M_L=3{,}24\tau-3{,}84$, где τ – длительность коды сигнала землетрясения, т. е. время между приходом первого вступления продольной волны и время, когда амплитуда коды не более чем в 1,5 раз превышает амплитуду фонового сейсмического шума.

В результате донного сейсмологического мониторинга были определены параметры 14 землетрясений (координаты эпицентров, глубины очагов и магнитуды), получена картина пространственного распределения очагов этих сейсмических событий и их

график повторяемости. Эти данные, а также вся доступная геолого-геофизическая и сейсмологическая информация были использованы для оценки параметров максимально возможных сейсмических воздействий на трассу проектируемого подводного газопровода и береговых инфраструктурных сооружений.

Кроме того, полученная информация позволила существенным образом уточнить представления о сейсмотектонике западной части Черного моря.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (Грант № 20-05-00533А) и по Государственному заданию № 0128-2021-0004.

ДИНАМИКА КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ПРОЛИВЕ ФРАМА И ВБЛИЗИ АРХ. ШПИЦБЕРГЕН ПО ДАННЫМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ РСА НАБЛЮДЕНИЙ

Михайличенко Т.В., Козлов И.Е.

МГИ, г. Севастополь, Россия
fsbsi.mhi.tamara@yandex.ru

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, спутниковая радиолокация морской поверхности, фазовая скорость внутренних волн.

Спутниковые наблюдения с помощью радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) дают уникальную возможность наблюдать морскую поверхность с высоким пространственным разрешением фактически вне зависимости от погодных условий, что особенно актуально для арктического региона. В последние годы активно используются данные, полученных с двух новых полярно-орбитальных спутников Sentinel-1A и Sentinel-1B, запущенных в 2014–2016 гг. Частота измерений вышеуказанных спутников в полярных областях Земли, в частности в полосе широт 70–85° с. ш., достигает 2–4 раз в сутки с разницей по времени между ближайшими съёмками в 40–50 мин. С их помощью мы

можем более продуктивно получать данные о районах генерации и характеристиках внутренних волн. В работе представлены результаты анализа поля короткопериодных внутренних волн в проливе Фрама и вблизи арх. Шпицберген, полученные в ходе обработки массива спутниковых изображений SAR-C Sentinel-1 за летне-осенний период с июня по октябрь 2018 и 2019 г. Всего было рассмотрено1200 снимков за 2018 год и 1500 за 2019 год. Выделены основные районы наблюдения КВВ и построена карта пространственных характеристик внутренних волн. Основная часть внутренних волн зарегистрирована в июле и августе (~65 %). Внутренние волны распределены на акватории моря неравномерно. Можно выделить три ключевых района наблюдения КВВ глубоководная часть пролива Фрама, южная и центральная части плато Ермак и шельфовая область к северо-западу от арх. Шпицберген.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ № 18-77-00082 и государственного задания 0555-2021-0003.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ГЛУБИННОМ СЛОЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО НАТУРНЫМ ДАННЫМ (ИЮЛЬ 2016 Г.)

Морозов А.Н., Маньковская Е.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия
anmorozov@mhi-ras.ru

Ключевые слова: придонный конвективный слой, потенциальная температура, соленость, потенциальная плотность, изопикнические поверхности, Черное море.

В докладе обсуждаются результаты анализа *CTD*-данных, собранных в 87-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий», проходившем 30.06-18.07.2016 в центральном секторе северной части Черного моря (31–36,5° в. д., 43–45° с. ш.). Общее количество станций составило 106, на 32-х станциях измерения выполнялись до глубин более 1700 м.

Положение верхней границы придонного конвективного слоя варьируется от станции к станции в диапазоне 1700–1900 м. В районах локализованного расположения станций изменчивость положения верхней границы слоя хорошо воспроизводится гармонической функцией с периодом 10–12 часов, который, предположительно, определяется формой бассейна. На двух станциях (северо-восточная часть полигона) в придонной области однородного слоя не наблюдается до глубин зондирования 1950 м, что может быть вызвано придонным антициклоническим вихрем топографического происхождения с характерным диаметром около 50 км.

На горизонте 1950 м (20 станций) потенциальная температура и соленость в среднем проявляют убывание с ростом долготы. Диапазон изменения потенциальной температуры составил 0,0012 °C, среднеквадратическое отклонение (с.к.о.) от среднего – 0,00027 °C, с.к.о. от линейной зависимости от долготы – 0,0002 °C. Диапазон изменения солености составил 0,0014 psu, с.к.о. от среднего 0,00038 psu, с.к.о. от линейной зависимости 0,00022 psu. Убывание температуры и солености с долготой может быть вызвано антициклонической направленностью течений глубже 1000 м вблизи свала глубин (5–20 км), проявляющейся в результатах численного моделирования для летнего сезона (Маркова Н.В.).

Теплые и соленые мраморноморские воды, поступающие в Черное море с нижнебосфорским потоком, опускаются по материковому склону и в глубинных слоях переносятся в антициклоническом направлении. По мере продвижения на восток эти воды трансформируются, смешиваясь с окружающими водами, что и приводит к уменьшению их температуры и солености.

В пользу такого механизма говорит и распределение потенциальной плотности в глубинном слое моря. Хорошо известно, что в Черном море изопикнические поверхности имеют куполообразную форму с подъемом в центральной части и опусканием на периферии. В слое моря ниже 1000 м, по данным обсуждаемых измерений, установлено наличие узкого участка вблизи материкового склона (в пределах ~10 км), где наблюдается резкий подъем изопикнических поверхностей в направлении свала глубин. При этом ближе к центру моря выявляется традиционная куполообразная форма изопикнических поверхностей.

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам № 0555-2021-0003 и № 0555-2021-0005.

ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ И БИОГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ МОРЯ

Навроцкий В.В.

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
vnavr@poi.dvo.ru

Ключевые слова: шельф, внутренние волны, болюсы, потоки энергии, перемешивание, температура, придонный слой, биогены, фотосинтез, биопродуктивность.

Существующий уровень жизни в океане невозможен без интенсивного обмена энергией и веществом между океаном, сушей и атмосферой в окраинных в зонах океанов, включающих шельф и континентальный склон. Над континентальным склоном вблизи границы шельфа происходит передача энергии крупномасштабных процессов открытого моря (приливов, течений, синоптических вихрей) средне и мелкомасштабным движениям (внутренним волнам, мезомасштабным вихрям, квазигоризонтальной и трехмерной турбулентности). Инерционно-гравитационные внутренние волны (ВВ), генерируемые вблизи границы шельфа, являются самыми эффективными переносчиками механической энергии в сторону берега вплоть до мелководья, где их разрушение приводит к интенсивному трехмерному перемешиванию. При этом ВВ влияют на морфологические процессы в прибрежной зоне моря и могут формировать «внутренний пляж».

Вследствие естественных и искусственных стоков с суши в прибрежной зоне моря в придонном слое и в осадках накапливается большое количество как необходимых, так и загрязняющих органических и минеральных веществ. Взаимодействие приливоотливных течений, внутренних волн и генерируемой ими турбулентности способствует вентиляции прибрежных вод и переносу в сторону моря необходимых для фитопланктона биогенов.

В докладе приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований в зоне шельфа зал. Петра Великого. Численное моделирование генерации ВВ поверхностным приливом позволяет объяснить генерацию второй вертикальной моды

гравитационных ВВ непосредственно в зоне их генерации над границей шельфа и характер трансформации и разрушения ВВ при приближении к берегу. Натурные эксперименты показывают, что ВВ могут трансформироваться в дискретные болюсы с холодными ядрами, которые переносят воду с глубин ниже термоклина на мелководье, где термоклин отсутствует. Синхронные измерения колебаний температуры и скорости течений на различных горизонтах позволяют оценить различия в горизонтальных и вертикальных потоках импульса и тепла в условиях слабой и сильной стратификации. Проведен анализ спектральной структуры колебаний температуры, скорости течений, потоков тепла и импульса и изменений их спектральной структуры во времени и по глубине.

Анализ спутниковых данных о концентрации хлорофилла-а в зал. Петра Великого в различные сезоны за 10 лет показывает, что пространственно-временная структура первичной продукции в зоне шельфа и прилегающей части открытого моря существенно зависит от стратификации и относительной роли динамических процессов. Внутренние волны и болюсы с большими амплитудами приводят к резким горизонтальным градиентам температуры, к большим и быстрым смещениям фитопланктона по глубине, а тем самым к значительным колебаниям освещенности. Связанные с рассмотренными динамическими процессами колебания концентрации биогенов, величины и спектральной структуры получаемой фотосинтетически активной радиации и градиентов температуры являются важнейшими факторами, влияющими на первичную продукцию и структуру морских экосистем.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДОННЫХ СТАНЦИЙ ADCP И ТЕРМОКОС НА ПОЛИГОНЕ «ГЕЛЕНДЖИК» ИОРАН

Нижниковская О.Ю.[1], Очередник В.В.[1], Зацепин А.Г.[1]

[1]ИО РАН, г. Москва, Россия
nizhnikovskaya.ou@ocean.ru

Ключевые слова: автоматический мониторинг, вихре-волновые структуры, ADCP, термокосы, спутниковые данные.

В настоящей работе приводятся результаты совместного анализа спутниковых изображений и данных, полученных с помощью автоматических донных станций ADCP и термокос на заякоренных буйковых станциях, установленных на черноморском полигоне ИО РАН «Геленджик» (http://polygon.ocean.ru). На основании этих результатов можно судить о влиянии вихревых структур идентифицируемых на спутниковых изображениях на гидрофизические характеристики (скорость течения, распределение температуры) в прибрежной зоне черноморского побережья.

Работа начиналась с отбора спутниковых снимков Sentinel и Landsat в оптическом диапазоне в период 2018-2020 г.г., на которых проявляются вихре-волновые структуры в районе полигона ИО РАН «Геленджик». Затем под даты этих снимков подбирались данные измерений станций ADCP и термокос. Анализировалось влияние вихре-волновых структур на скорость течения и температуру воды, а также их вертикальное распределение. При этом учитывались физические представления о характере влияния выявленных на спутниковых снимках динамических структур на поля скорости течения и температуры в прибрежной зоне моря.

Дополнительно выполнен анализ крупномасштабных карт поверхностной температуры, хлорофилла и скорости ветра на 10 м по данным реанализа, полученных из архива Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Морского гидрофизического института РАН» (http://dvs.net.ru/) с целью установления внешних условий формирования волно-вихревых структур, выявленных по данным спутников Sentinel и Landsat.

Совместный анализ данных подтвердил, что во многих случаях удается установить закономерности влияния волно-вихревых структур, обнаруженных на спутниковых снимках, на гидрофизические характеристики (скорость течения, распределение температуры) в прибрежной зоне черноморского побережья в районе полигона ИО РАН «Геленджик».

Представленная в работе методика совместного анализа спутниковых изображений и гидрофизических данных может служить основой для дальнейшего исследования динамических про-

цессов в Черном моря, как в субмезомасштабном диапазоне пространственно-временной изменчивости, так и на больших масштабах.

Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме № 0128-2021-0002 «Механизмы формирования циркуляционных структур Мирового океана: ключевые процессы в пограничных слоях и их роль в динамике океана на основе экспедиционных исследований, численного и лабораторного моделирования».

ВОССТАНОВЛЕНИЕ БАТИМЕТРИИ ПО ДАННЫМ БОРТОВОЙ КАМЕРЫ БПЛА В ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Новиков Б.А.[2], Кубряков А.А.[2], Федоров С.В.[2]

[1]СевГУ, г. Севастополь, Россия
[2]МГИ, г. Севастополь, Россия
alsha996@yandex.ru

Ключевые слова: Беспилотные летательные аппараты (БПЛА), батиметрия, донная растительность, Черное море, дистанционные методы.

Данные о рельефе прибрежной акватории морей и других водных объектов(батиметрия) являются основой для ведения хозяйственной деятельности человека. Используя эту информацию, мы можем оценить перспективность строительства берегозащитных и рекреационных сооружений.

С развитием коммерческого рынка беспилотных летательных аппаратов стали появляться новые подходы к их использованию, позволяющие вести мониторинг природной и антропогенной среды. БПЛА предоставляют высокого качества информацию на региональном масштабе за относительно небольшую стоимость.

В настоящей работе демонстрируется возможность классификации и восстановления рельефа дна в оптически прозрачных водах, используя стандартные для человеческого глаза снимки в RGB диапазоне спектра.

В качестве модельных полигонов, в рамках исследования, была выбрана прибрежная зона Крыма и Севастополя: мыс Каменный, на северо-западе Крымского полуострова, бухта Омега, прибрежная часть у п. Любимовка. Районы отличается небольшими глубинами, прозрачными водами и биоразнообразием бентосных сообществ. Аэрофотосъемка полигонов была выполнена при помощи БПЛА Dji Phantom 4 Plus и Dji MAVIC PRO.

Анализ яркости в трех спектральных каналах красного, синего и зеленого, позволяет определить характеристики структуры дна, а также восстановить глубины с разрешением до 20 см.

Для определения глубины дна использовался метод, предложенный в работе (Stumpf et al, 2003). При условии, что отношение яркости дна на двух длинах волн остается постоянным для разных типов глубина - есть отношение логарифма двух выбранных каналов: $z = m_1 \frac{\ln(nL(\lambda_2))}{\ln(nL(\lambda_1))} - m_0$ с неизвестными коэффициентами m1 и m0. Для определения этих коэффициентов использовались данные низкого разрешения о глубине дна, полученные по данным эхо локации на сайте Navionics. С целью проверки применимости этого подхода, коэффициенты были определены отдельно для участков акватории, занятых песком и бентосом. Для выделения этих участков был использован индекс VDVI (Jiang et al., 2020). Результаты показали, что коэффициенты, выделенные для бентоса и песка, достаточно близки. Восстановленная по данным БПЛА батиметрия имеет гораздо более высокое разрешением, чем исходное поле, и позволяет определить значительное количество мелкомасштабных особенностей батиметрии. С помощью такого метода, основанного на коммерческих БПЛА, есть возможность осуществлять регулярный оперативный мониторинг изменения рельефа дна с разрешением десятки сантиметров, например, под воздействием интенсивных штормов, что имеет важное прикладное значений для фундаментальных исследований и хозяйственной деятельности в прибрежной зоне.

1. Stumpf R.P., Holderied K., Sinclair M. 2003. Determination of Water Depth with High-resolution Satellite Imagery over Variable Bottom types // Limnol. Oceanogr., 48, pp. 547-556

2. Jiang, X., Gao, M., & Gao, Z. (2020). A novel index to detect green-tide using UAV-based RGB imagery. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 245, 106943.

3. Pankeeva T. V., Mironova N. V., Novikov A. B. Kartografirovanie donnoj rastitel'nosti buhty Kruglaya (g. Sevastopol', CHernoe more). // Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon morya, 2019. № 3, S. 61–71. DOI: 10.22449/2413-5577-2019-3-61-71.

ВИХРИ ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ, ИЗОБРАЖЕНИЯМ В РАДИОЛОКАЦИОННОМ И ВИДИМОМ ДИАПАЗОНАХ

Новикова Ю.С.[1], Башмачников И.Л.[2,3]

[1]ИВПС КарНЦ РАН, г. Петрозаводск
[2]СПбГУ, г. Санкт-Петербург
[3]Фонд «Нансен-центр», г. Санкт-Петербург
NovYuliana@gmail.com

Ключевые слова: субмезомасштабные вихри, мезомасштабные вихри, Лофотенский вихрь, Норвежское море, спутниковая альтиметрия, радиолокация, хлорофилл-а.

В данной работе была сделана первая попытка оценить взаимодействие мезомасштабных и субмезомасштабных вихрей с Лофотенским вихрем (ЛВ) на основе трех спутниковых данных: альтиметрических, радиолокационных и видимого диапазона (хлорофилл-а). Важность исследования заключается в представлении о существенной роли субмезомасштабных вихрей в горизонтальном и вертикальном перераспределении термохалинных и химико-биологических свойств морской воды.

В ходе работы было установлено, что используемые данные имеют ограничения по выделению вихрей: в радиолокационном и видимом диапазонах хуже выделяются крупные мезомасштабные вихри, а альтиметрия не способна выделять малые мезомасштабные и субмезомасштабные вихри. Таким образом, используемые в работе типы спутниковых данных являются взаимодополняющими.

По данным альтиметрии было выделено три эпизода взаимодействия Лофотенского вихря с мезомасштабными циклоническими и антициклоническими вихрями: 09.04.2015-07.05.2015 - слияние антициклонического вихря с ЛВ; 20.05.2016-10.06.2016 - взаимодействие ЛВ с циклоническими вихрями и последующее слияние циклонических вихрей на границе ЛВ; 15.07.2016-05.08. 2016 – разделение ЛВ на два вихря. По данным изображений радиолокации и хлорофилла-а исследованы особенности изменчивости количества и радиуса субмезомасштабных вихрей в зависимости от фазы взаимодействия Лофотенского вихря с другими вихрями. Было обнаружено, что наибольшее количество субмезомасштабных вихрей в областях взаимодействия мезомасштабных вихрей приходится на фазу наиболее интенсивного взаимодействия последних. При этом средний радиус субмезомасштабных вихрей увеличивается и приближается к первому бароклинному радиусу деформации Россби для Лофотенской котловины.

ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ С АВТОНОМНЫХ ПРОФИЛОГРАФОВ

Новицкий А.В., Карцан И.Н.

МГИ, г. Севастополь, Россия
a.novitskiy@mhi-ras.ru

Ключевые слова: спутниковая система связи, Гонец-М, Аквалог, профилограф.

Разработка автономных мобильных океанологических профилографов ведётся с 1970-х годов. В последнее время такие приборы становятся особенно актуальны, поскольку они предоставляют возможность получать длительные ряды данных вертикальных профилей океана в выбранной точке. В настоящее время разработано около 20 различных автономных мобильных океанологических профилографов, в основном зарубежными разработчиками. С 2006 г. сотрудниками института океанологии

им. П.П. Ширшова ведется разработка отечественного океанологического мобильного профилографа с электродвигателем под названием «Аквалог». Разрабатываемый профилограф представляет собой платформу-носитель с установленными на ней океанологическими датчиками. Аквалог перемещается вверх-вниз по натянутому в толще воды тросу и получает профили данных по пути прохождения.

Длительность периода измерений данных Аквалогом ограничивается запасом ёмкости аккумуляторных батарей. Постановка прибора на цикл измерений планируется на определённый период, после которого требуется техническое обслуживание прибора, в числе которого: зарядка батарей, очистка корпуса и троса от наростов, замена анодов и т. д.

В связи с этим, процесс получения собранных данных с внутреннего носителя информации Аквалога осуществляется в период технического обслуживания, что может составлять ориентировочно до 3–6 месяцев.

В целях оперативного получения данных без физического процесса поднятия Аквалога раньше срока технического обслуживания предлагается установка в корпус прибора передающего устройства Гонец-М, российской многофункциональной системы персональной спутниковой связи (МСПСС), построенной на базе низкоорбитальных космических аппаратов, назначением которой является оказание услуг связи в глобальном масштабе.

Основным назначением системы «Гонец» является обеспечение связью зон вне покрытия наземными сетями GSM, предоставление связной среды для российской системы координатно-временного обеспечения ГЛОНАСС и связь со стационарными и мобильными абонентами, находящимися в труднодоступных регионах.

Типичными сферами применения МСПСС «Гонец-Д1М» являются сбор и передача координатно-временной информации ГЛОНАСС с средств транспорта, сбор и передача датчиковой информации со стационарных или подвижных объектов в труднодоступных районах (например, мониторинг буровых вышек, метеорологических станций, трубопроводов и т. п.), персональная

связь с абонентами в труднодоступных регионах, передача конфиденциальной информации между удалёнными абонентами. Услуги на базе системы оказываются в глобальном масштабе.

Как видно, рассматриваемая система имеет широкий спектр применения в военной и гражданской сферах, однако, до настоящего момента применение данной системы в научно-исследовательских целях не предлагалось. Рассматриваемая модификация направлена на повышение оперативности получения данных с профиломера Аквалог в режиме онлайн.

ВЕРИФИКАЦИЯ МНОГОМАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦИРКУЛЯЦИЙ ЛЕНГМЮРА

Павлов М.И., Чухарев А.М., Казаков Д.А.

МГИ, г. Севастополь, Россия
mixail.pavlov.1993@mail.ru

Ключевые слова: Циркуляции Ленгмюра, вертикальный турбулентный обмен, приповерхностный слой, механизмы генерации турбулентности.

Современная океанология вплотную подошла к пониманию физической сути процессов турбулентного перемешивания в специфических условиях океанской среды. В последнее время достаточно много внимания уделяется циркуляциям Ленгмюра (ЦЛ), которые являются одним из факторов, определяющих интенсивность этих процессов. Когерентные структуры, возникающие под воздействием ветра и дрейфа Стокса, могут быть при определенных условиях доминирующим механизмом в вертикальном обмене в приповерхностном слое.

Многомасштабная модель, разработанная в отделе турбулентности Морского гидрофизического института РАН, описывает несколько механизмов турбулентности: поверхностное волнение, обрушение волн, сдвиг скорости дрейфового течения, стоксов дрейф. Для учета влияния ЦЛ в многомасштабную модель

были интегрированы полученные разными авторами параметрические зависимости, основанные на LES-моделировании. Доработанная многомасштабная модель верифицировалась по экспериментальным данным, полученным при различных гидрометеорологических условиях, при этом предполагался суммарный эффект всех механизмов генерации, существующих в конкретных условиях. Данные собраны во время экспедиций на океанологической платформе в период с 2004 по 2019 г. в различные гидрологические сезоны. Выполнена оценка влияния ЦЛ и других механизмов на интенсивность вертикального турбулентного обмена.

Улучшенная модель, учитывающая все указанные механизмы генерации турбулентности, позволяет точнее рассчитывать коэффициент турбулентного обмена, необходимый для оценки вертикальных потоков тепла, соли и других растворенных химических и биологических веществ.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПЛОЩАДИ И ФОРМЫ БЕНГЕЛЬСКОГО АПВЕЛЛИНГА ПО СПУТНИКОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЁНОСТИ

Павлушин В.А., Кубряков А.А.

МГИ, г. Севастополь
pavlushin.92@mail.ru

Ключевые слова: Бенгельский апвеллинг, сезонная изменчивость, спутниковые измерения, межгодовая изменчивость.

В настоящей работе, на основе спутниковых данных температуры и солёности исследуется сезонные и межгодовые изменения площади и формы Бенгельского апвеллинга. Так же на основе сопоставления данных температуры и солёности мы также демонстрируем, что спутниковые измерения солёности позволяют эффективно оценивать межгодовые изменения термохалинной структуры Бенгельского апвеллинга.

В работе используется массив температуры (SST) (Reynolds et al., 2007), основанный на измерениях радиометров AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) и AMSR (Advanced Microwave Scanning Radiometer). Данные за период 1985–2017 гг. имеют пространственное разрешение 0,25° и временную дискретность 1 день.

Из наблюдений следует, что Бенгельский апвеллинг можно разделить на 2 широкие области (Hagen 2001) холодных вод с границей в районе 28° ю. ш. – на Северный (СБА) и Южный (ЮБА) Бенгельский апвеллинг. Градиенты плотности на фронте апвеллинга приводят к образованию северных геострофических течений, скорость которых, таким образом, зависит от интенсивности апвеллинга. Кроме того, в южной части континента северные течения частично обусловлены ответвлением течения мыса Игольный.

Исследована сезонная изменчивость площади Бенгельского апвеллинга. Максимальные температуры в зоне апвеллинга наблюдаются в астральное лето с февраля по март (порядка 18 °С.), а наименьшие – в августе-октябре (около 14,5 °С). Площадь апвеллинга максимальна и практически одинакова с апреля по июль, когда она составляет около 400000 км^2. В сентябре-ноябре отмечается сезонный минимум площади апвеллинга, когда она уменьшается практически в 2 раза. Сезонный ход ширины апвеллинга характеризуется наличием двух зон наиболее интенсивной изменчивости. Первая более широкая зона (СБА) располагается в северной части апвеллинга между 22 и 26° ю. ш. Вторая зона в южной части (ЮБА) располагается на широте 29–30° ю. ш. Время наступления максимума её площади отстаёт от первой примерно на 3 месяца. Наибольшая ширина ЮБА (L=1,7–2°) наблюдается в период с марта по июль, а в остальное время на данной широте не превышает 1°.

Исследована межгодовая изменчивость площади Бенгельского апвеллинга. Максимальные площади отмечаются преимущественно в марте-июне, когда его площадь по данным ТПО оценивается в 250–350 тыс. км^2, а в некоторые месяцы, например, в мае 2000 и 2003 г. достигает 400 тыс. км^2. Минимальные площади отмечаются с сентября по ноябрь, когда общая площадь апвеллинга снижается в 2 раза до 150 тыс. км^2. Наблюдается выраженная изменчивость по амплитуде сезонного хода, и времени

наступлении максимума/минимума площади. В некоторые годы пик площади отмечается в июне (1998, 2011 г.), в некоторые в мае (2000, 2003 г.), а в последние годы в апреле или даже в марте. в некоторые в апреле (2005, 2010 г.), а в последние годы в апреле (2013, 2015 г.) или даже в марте (2014, 2016 г.). Таким образом, наблюдается тенденция к более раннему наступлению апвеллинга после 2010 г. Несмотря на выраженный рост температуры в окружающих водах, связанный с глобальным потеплением океана, температура в области апвеллинга остается стабильной, и её разница с окружающими водами растет.

Работа выполнена в рамках Госзадания 0555-2021-0006.

ИННОВАЦИОННОЕ МЫШЛЕНИЕ И ПРАКТИКА ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Пантелеева Г.Г., Кубряков А.А., Медведева А.В., Алескерова А.А., Рубакина В.А., Павлушин В.А.

МГИ, г. Севастополь, Россия
Calina2045@mail.ru

Ключевые слова: инновационное мышление, инновационная деятельность, инновационная океанология.

Инновационное мышление в современной научно-образовательной литературе рассматривается как творческая мыслительная деятельность, в результате которой оперирование ментальными моделями, мотивированное запросами общества, проявляется в материальном преобразовании окружающей среды. Иными словами, инновационное мышление характеризуется мотивацией, собственно мыследеятельностью, приводящей к созданию ментальной модели, и внешней предметной деятельностью по воплощению этой модели на практике.

Инновационная мыслительная деятельность актуальна, прежде всего, в естественнонаучной и технической сферах, базовых для развития общества. В контексте заданной темы инновационное мышление – это необходимое условие и реальная возможность

ускоренного обновления ранее известных научно-технических достижений в области океанологии. Такая возможность связана с особой организацией инновационной деятельности. В условиях научных учреждений ускоренный выход на новый, более высокий уровень естественнонаучного знания практически обеспечивает инновационная лаборатория. Как целостная система она более устойчива и более готова к постоянному развитию.

Инновационная лаборатория – это развивающаяся целостность, строящаяся на системных принципах единства, функциональной взаимосвязи, иерархического подчинения (приоритет научного руководителя) при сохранении свободы творческой мысли сотрудников. На пути единения и сотрудничества создается особая творческая среда, увеличивающая познавательную способность научного коллектива по мере гармонизации отношений. Опыт инновационного мышления приобретается в творческой атмосфере целенаправленных коллективных обсуждений, дискуссий, на тематических семинарах, конференциях, где возможность обновления знания и рождения новаторских идей существенно возрастает.

Плодотворность деятельности инновационной лаборатории обусловлена также созданием стратегического партнерства с привлечением к сотрудничеству специалистов различных направлений и регионов как возможность получения многопараметрического знания.

Практическим результатом инновационной деятельности лаборатории в условиях Морского гидрофизического института является разработка и внедрение новейших методов и средств исследования динамики, физико-химических и биологических характеристиках вод мирового океана.

Инновационное мышление – это новый социальный заказ и актуальный тренд, отражающий ключевую потребность общества в расширении знания о состоянии мирового океана.

Инновационное мышление и инновационная деятельность, существенно повышающие результативность исследования мирового океана, могут стать основой инновационной океанологии как нового перспективного направления.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ В ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ПРИБОРА ИСТ1-МА

Пасынков М.А., Рязанов В.А., Касьяненко К.А.

ИПТС, г. Севастополь, Россия
sevmixa@mail.ru

Ключевые слова: мониторинг, измерения, автоматизация, скорость течения.

Измерение скорости течения необходимо для контроля перемещения водных масс в океанах, морях, реках, в том числе со взвесями. Для этих целей применяются различные измерительные приборы, где в качестве первичных преобразователей скорости движения потока используются датчики, основанные на различных физических явлениях, например, на скоростном распространении акустических волн, использовании энергии ионизации, теплопередачи, индукции и т.д. Из всего многообразия исследуемых методов и средств измерения скорости течения, наиболее перспективными являются приборы, основанные на акустических принципах контроля. Коллективом центра экологического приборостроения и экоэнергетики Института природно-технических систем разработан и создан акустический измеритель скорости течения ИСТ-1 речного назначения. Так же разработана модификация прибора ИСТ-1М морского исполнения. Этот прибор дополнительно оснащен электромагнитным компасом и датчиком ускорений собственных движений, что позволяет определять направление течения в диапазоне от 0 до 360 градусов и частично учитывать скорость собственных движений.

Для долгосрочных, круглосуточных, всепогодных измерений скорости и направления течения была разработана модификация прибора ИСТ-1МА. В этом приборе запись информации и питание прибора осуществляется специально разработанным дополнительным герметичным автономным блоком.

Автономный блок ИСТ-1МА представляет собой герметичный корпус, жёстко скреплённый с прибором ИСТ-1М.

Структурно блок состоит из:

– аккумуляторной батареи типа AA NI-MH;

– контроллера заряда;

– цифровых часов с автономной независимой батарей типа CR2032;

– флэш-памяти для хранения измеренных данных;

– модема связи для передачи данных с погружаемого блока ИСТ-1М и передачи их на персональный компьютер;

– светового и звукового индикаторов, применяемых для информирования рабочих режимов, и уровня заряда АКБ.

В период с 06.12.2019 по 16.01.2020 и с 06.10.2020 по 21.10.2020 на выходе из Севастопольской бухты производились долгосрочные круглосуточные измерения скорости и направления течения, температуры и поверхностного волнения. Для выполнения данной задачи разработан специальный подвес со многими степенями свободы для точного позиционирования прибора, закрепленного на якорной цепи гидрографического буя.

Для того что бы вести более длительные наблюдения (месяц и более), фиксировать данные о скорости и направления течения, температуры воды и давления на выбранном горизонте постановки с задаваемой исследователем периодичностью и требуемой в соответствии с действующими нормативными и метрологическими документами длительностью каждого цикла измерений, был усовершенствован автономный блок регистрации. Благодаря этому в устройство можно устанавливать карты памяти до 64 Гб. В состав разработанного измерительного комплекса входят приборы:

– автономный акустический измеритель скорости течения ИСТ-1МА;

– надводная часть буйково-зондирующей станции, которая включает в себя два независимых GPS ГЛОНАСС BDS трекера.

В результате испытаний прибора ИСТ-1М, в различных режимах были испытаны дополнительные узлы совместно с прибором, которые подтвердили высокую надежность при работе в морских условиях.

ВИХРЕОБРАЗОВАНИЕ В ПРИКРОМОЧНОЙ ЛЕДОВОЙ ЗОНЕ ПРОЛИВА ФРАМА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Петренко Л.А., Козлов И.Е.

МГИ, г. Севастополь, Россия
larcpetr@gmail.com

Ключевые слова: лед, прикромочная ледовая зона, вихри, пролив Фрама.

По данным спутниковых радиолокационных измерений рассмотрены особенности вихреобразования у границы распространения льдов в проливе Фрама в июне–сентябре 2007 г.

Пространственное положение границы поля дрейфующих льдов является одним из ключевых параметров, демонстрирующих сложное взаимодействие океанских течений, ветра, вертикальных потоков тепла и процессов ледообразования и таяния. Анализ спутниковых данных показал, что в проливе Фрама в июне-сентябре 2007 г. кромка ледового поля претерпевала сильные деформации и ее смещение происходило неодинаково по всей протяженности. Наибольшее сезонное отступление наблюдалось в районах севернее 80° с. ш. и южнее 78° с. ш. В первой декаде августа движение кромки льдов сменило направление, в то время как в северной части ее отступление продолжилось и в сентябре.

При этом вихреобразование у кромки имело отличия в зависимости от района. К северу от 80° с. ш. наблюдались вихри меньших диаметров (до 5 км), чем вихри в прикромочной зоне южнее 78° с. ш. в проливе Фрама и на восточном шельфе Гренландского моря с диаметром 10–20 км.

У выделенных вихревых образований преобладал циклонический тип вращения. При этом большое количество антициклонических вихрей отмечалось в южной части рассматриваемого региона - на восточном шельфе Гренландского моря, где причиной их генерации и развития по всей видимости является интенсивное перемешивание атлантических вод в сочетании с ветровым

воздействием, которое приводит к активному вихреобразованию в виде диполей.

Наблюдаемые летом 2007 г. прикромочные вихри имели большие размеры в июне и июле. К концу летнего сезона диаметры прикромочных вихрей становятся меньше, а ледовая кромка выравнивается и уплотняется. В сентябре ослабевают и процессы перемешивания на восточном шельфе Гренландского моря, пик которых приходится на август.

Исследование выполнено в рамках государственного задания 0555-2021-0003, а также при поддержке гранта РНФ № 21-17-00278.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА ПРИ ПОМОЩИ ПРОТОЧНОЙ СУДОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Пляка П.С., Будник А.П., Валов Г.В., Герасюк В.С., Глущенко Г.Ю., Иванов В.А.

ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия
pavstef@mail.ru

Ключевые слова: контактные данные, проточный флуориметр, хлорофилл-А, температура воды, соленость, передача данных.

Автоматизированные системы регистрации контактных данных являются хорошим дополнением к традиционным методам с использованием точечных измерений и спутниковым наблюдениям. Проточные датчики позволяют проводить измерения с высокой пространственной детальностью, недостижимой другими средствами.

Уже несколько лет на научно-исследовательском судне (НИС) «Денеб» ЮНЦ РАН вместе с промышленным соленографом установлены проточные датчики флуоресценции и температуры собственной конструкции. В ходе экспедиций забортная вода с глубины 0,5 м от поверхности непрерывно прокачивается через измерительную систему. Получаемые ряды данных прижизненной флуоресценции хлорофилла-А (хл-А) и температуры с точной привязкой по времени и координатам предаются по каналам

спутниковой и сотовой связи на сервер с последующим представлением на сайте: http://meteo.ssc-ras.ru.

Ежегодно на НИС «Денеб» проводится несколько экспедиций в периоды с весны по осень, в ходе которых проводится также отбор проб для последующего определения концентрации хл-А стандартными методами. Результаты лабораторного анализа позволяют вносить поправки при обработке данных проточных систем. Установлено, что интенсивность флуоресценции зависит от видового состава фитопланктона, который в свою очередь определяется температурным и солевым режимом водоема.

По всему массиву результатов, полученных в мае-июне 2018 г. в Азовском море, интенсивность флуоресценции и концентрация хл-А имеют выраженную связь ($R^2 = 0,88$, $n = 27$). Результаты непрерывных судовых измерений флуоресценции хл-А, значения полной биомассы и видовой состав одноклеточных водорослей в отобранных пробах хорошо демонстрируют, что соленость является основным фактором, который регулирует распределение фитопланктона в акватории Азовского моря.

Во время экспедиции в октябре 2020 г. по маршруту: устье р. Дон – Азовское море – прибрежная зона Черного моря России – прибрежная зона Абхазии, и обратно тем же путем на фоне высоких значений плотности фитопланктона в Азовском море отмечались ее существенные колебания (в 2–3 раза) при стабильном уровне температуры. При движении на юг температура росла, в то время как средняя интенсивность флуоресценции монотонно снижалась, подтверждая роль солености как фактора, определяющего состав микроводорослей в Азовском море.

В ходе осенней 2020 г. экспедиции по маршруту: устье р. Дон – Цимлянское водохранилище – Волго-Донской канал – р. Волга – российская прибрежная зона Каспийского моря, и обратно можно отметить очень низкую концентрацию хл-А на всем протяжении Волго-Донского канала и нижнего течения р. Волга, наблюдался только локальный всплеск в районе г. Астрахань. Максимальные значения флуоресценции зарегистрированы в Цимлянском водохранилище, несмотря на сниженную до 10–11 °С температуру. Высокое содержание микроводорослей отмечено в центральной части Каспийского моря, где слабеет влияние впадающей р. Волга. В ходе экспедиций наблюдались также интересные локальные особенности.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРХМАЛЫХ АВТОНОМНЫХ ПЛАВСРЕДСТВ ДЛЯ СБОРА КОНТАКТНЫХ И ВИЗУАЛЬНЫХ ДАННЫХ ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

Пляка П.С., Хорошев О.А., Валов Г.В., Иванов В.А., Юдин А.В., Будник А.П., Нафрамица Г.А.

ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия
pavstef@mail.ru

Ключевые слова: датчики, автономное плавсредство, видеорегистрация, измеряемые параметры, дистанционное управление, мелководные участки.

Представлены результаты разработки и тестирования методики сбора контактных и визуальных данных о компонентах окружающей среды с использованием дистанционно управляемых сверхмалых автономных плавсредств (САП). Такие устройства особенно перспективны для использования в пределах труднодоступных мелководных участков водоемов с развитой водной растительностью. В отличие от беспилотных летательных аппаратов, САП практически не требуют энергии для удержания в точке наблюдения и обеспечивают большую защиту установленному оборудованию.

Создана универсальная платформа на базе тримарана, включающая два водометных движителя с электрическим приводом и режимом заднего хода. Управление ходом САП осуществляется оператором дистанционно с помощью очков виртуальной реальности и установленной на палубе видеокамеры с передатчиком для трансляции потокового изображения, что позволяет выводить аппарат на точки наблюдения, расположенные вне зоны прямой видимости оператора, и контролировать его работу. Система спутникового позиционирования, Li-ионная аккумуляторная батарея, контроллер хода с синхронизацией тяги и другие узлы размещены в защищенном от брызг пластиковом боксе. Во втором боксе размещается оборудование для регистрации контактных данных. На погруженных в воду кронштейнах закреплены кондуктометрический датчик солености с датчиком температуры и датчик малогабаритного эхолота. Результаты измерений с точной

привязкой по координатам и времени записываются на карту памяти и передаются на береговой пункт приема при помощи модема по каналам сотовой связи.

Для сбора визуальных данных об окружающем ландшафте, околоводной флоре и фауне на палубе САП установлены камера с широкоформатным режимом съемки и панорамная видеокамера с круговым обзором. Существует возможность и планируется установка дополнительных устройств контактного и бесконтактного контроля параметров воды, дна и атмосферы.

Проведенные испытания показали хорошую плавучесть и управляемость САП, большой запас хода и длительную работу установленного оборудования в точках наблюдения и по маршруту. Проведены предварительные исследования распределения температуры и солености воды, а также структуры дна на отдельных участках дельты реки Дон. Оборудование для видеосъемки было испытано также на заросших тростником и заиленных изолированных водоемах в целях дистанционного сбора визуальных данных о прибрежной орнитофауне. В результате обработки визуальной информации было зафиксировано большое количество птиц, в том числе редких.

ВАРИАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНЕНИЯ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ АТМОСФЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НА БУЕ WAVESCAN В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО В 2016 Г.

Пономарев В.И., Лазарюк А.Ю., Старжинский С.С., Кустова Е.В., Харламов П.О., Лобанов В.Б., Сергеев А.Ф., Марьина Е.Н., Шкорба С.П.

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
pvi711@yandex.ru

Ключевые слова: синоптическая изменчивость, вертикальный профиль скорости течения, характеристики волн на поверхности моря, атмосферное давление, скорости приводного ветра, измерения на буе WaveScan, юго-западный шельф залива Петра Великого, реанализ ERA5, сопоставление.

На юго-западном шельфе залива Петра Великого (Японское море) в точке глубиной 50 м с 21 апреля по 23 декабря 2016 г. с помощью заякоренного буя WaveScan впервые выполнены длительные измерения океанологических и метеорологических характеристик. В течение 10 минут каждого часа измерялись вертикальные профили вектора скорости течения в 12 слоях толщиной 4 м. от приповерхностного слоя до придонного. В течение 20 минут каждого часа измерялись характеристики волн на поверхности моря. Большинство измеренных с разрешением 1 час метеорологических параметров и характеристик волнения хорошо согласуются с данными ренализа ERA5 (Лобанов, Лазарюк, Пономарев и др., 2020).

Приборами WaveScan из-за конструкции корпуса буя не регистрируются короткие ветровые волны с периодами 2–3 с, имеющиеся в модели реанализа. В реанализе ERA5 не моделируются полученные по данным измерений буя WaveScan длинные волны зыби с периодом около 23 с и малой высотой, не превышающей 25 см. Эти длинные волны зыби распространялись с юга в период прохождения тропического циклона Лайонрок в конце августа 2016 г. над центральной глубокой котловиной Японского моря.

Выявлены характерные изменения вертикальных профилей вектора скорости течения при различном нестационарном атмосферном воздействии на синоптическом временном масштабе в теплый и холодный сезоны. В теплый период года ниже приповерхностного слоя трения в сезонном пикноклине наблюдается значительный левый поворот вектора измеренной скорости течения с глубиной. При малой и средней скорости ветра, не превышающей 5 м/с, угол поворота достигает 170° в придонном слое, где формируется противотечение.

При увеличении модуля скорости ветра угол левого поворота вектора скорости течения в пикноклине уменьшается до 30° и 20° при средней суточной скорости ветра 7 м/с и 9 м/с соответственно. В холодный период года по данным измерений на буе в верхнем пограничном слое моря наблюдается классический правый поворот вектора скорости течения, а средний по вертикали вектор скорости, как и полный поток дрейфового течения в слое трения по Экману отклоняются на 90° вправо от вектора скорости

приводного ветра. Левый поворот вектора скорости течения в точке установки буя в холодный сезон не наблюдается.

При использовании данных наблюдений с разрешением 1 час определена зависимость вектора скорости течения от скорости ветра в период прохождении как глубокого внетропического циклона (982 гПа) в начале мая 2016 г., так и тропического циклона Лайонрок (975 гПа) в конце августа – начале сентября. Показано, что в период прохождения тайфуна Лайонрок с 29 августа по 5 сентября модуль скорости течения достиг максимально значения 92 см/с в слое сезонного пикноклина между горизонтами 18 и 22 м 1 сентября в 3:00 через 24 часа после максимального ветрового и волнового воздействия в районе установки буя. Средняя по вертикали скорость течения достигала наибольшего значения 75 см/с 1 сентября в это же время. Значительные высоты волн, как и скорость ветра, достигали наибольшего значения 3,7 м 31 августа.

СУТОЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ И ДАННЫХ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рубакина В.А., Кубряков А.А., Станичный С.В., Мизюк А.И.

МГИ, г. Севастополь, Россия
valenru93@mail.ru

Ключевые слова: суточный ход температуры, Черное море, NEMO, SEVIRI, спектральный анализ, дневной прогрев.

Суточные колебания температуры вод представляют особый интерес для современной океанологии, так как они являются одними из основных составляющих климатической системы и влияют на изменчивость температуры в долгосрочном масштабе, а также оказывают воздействие на формирование ветров, вносят существенный вклад в турбулентный обмен теплом и импульсом между океаном и атмосферой.

В настоящей работе проведено исследование суточного хода температуры и особенностей его вертикального распределения в различные сезоны года для Черного моря на основе данных модели NEMO с высоким временным разрешением и данных сканера SEVIRI, установленного на геостационарных спутниках Meteosat второго поколения.

Выполнен сравнительных анализ данных модели и данных сканера SEVIRI. Определено, что данные NEMO достаточно хорошо воспроизводят суточный и сезонный ход температуры, а также особенности их пространственного распределения и хорошо согласуются с дистанционными данными. Получено также, что данные модели и спутниковые измерения показывают наличие выраженной линейной связи между амплитудой суточных колебаний и скоростью ветра.

Рассмотрено вертикальное распределение суточного хода температуры для различных сезонов года. Для всех сезонов года отмечено наличие хорошо выраженного минимума и максимума аномалий в течение суток. Максимальные отклонение температуры в сторону ее уменьшения наблюдается в утренние часы, максимальных положительных аномалий температуры приходится на 13.00 – 16.00 (дневной прогрев).

Проведен спектральный анализ вертикального распределения температуры. В теплый период года наблюдаются максимальные по величине энергии суточные колебания. Этот максимум локализирован в верхних слоях вод, на горизонтах до 6–7 м. В холодный период года интенсивность суточных колебаний меньше. Тем не менее, глубина проникновения суточного хода температуры достигает 45–50 м.

Рассмотрены сезонные особенности событий значительного дневного прогрева. Весной, когда устойчивая стратификация отсутствует, наблюдается прогрев достаточно глубоких слоев вод вследствие чередования интенсивного прогрева в дневные часы с последующей ночной конвекции и ветровым перемешиванием. Такие суточные пульсации формируют постепенный прогрев вод в слое 0–35 м, и медленное образование сезонного термоклина. В теплый период года из-за наличия температурной стратификации прогретые воды остаются в тонком приповерхностном слое.

Анализ пространственно-временной изменчивости спектральной энергии суточных колебаний температуры показывает, что

суточные колебания охватывают весь ВКС. В зимний период суточные колебания температуры в зонах даунвеллинга на периферии бассейна проникают глубже, чем в центре моря, а наибольшее их вертикальное проникновение наблюдается в районе синоптических антициклонов.

Оценка суточного хода температуры выполнена в рамках гранта РФФИ 20-35-70034. Валидация данных сканера SEVIRI и данных модели NEMO выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 19-35-90084. Исследование зависимости перепада температуры в приповерхностном слое от различных факторов выполнена в рамках государственного задания по теме №0555-2021-0006.

О ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА В ЧЁРНОМ МОРЕ

Сапрыкин О.А.[1, 2], Носов В.Н.[1], Спирочкин Ю.К.[2]

[1]ГЕОХИ РАН, г. Москва, Россия
[2]ОАО «Консорциум «Космическая регата», г. Королёв Московской области, Россия
oleg.sapr@gmail.com

Ключевые слова: сероводород, водородное топливо, металлогидридный аккумулятор, Чёрное море, автономный энергетический комплекс, технологическая установка.

Освоение и использование Мирового океана неразрывно связано с созданием технических средств, требующих энергоснабжения или топлива. Морская вода – естественный источник и электроэнергии, и топлива. Известна технология электролиза воды с получением водорода (топлива) и кислорода (окислителя). Тем не мене, конкретно для региона Чёрного моря (и ещё нескольких акваторий Мирового океана) существует ещё одно альтернативное решение – использование растворённого в воде сероводорода. Известно, что более 90 % водной толщи Черного моря составляет слой, насыщенный сероводородом. На уровне 500 м от поверхности концентрация сероводорода оценивается величиной приблизительно 200 г в 1 куб. м^3 воды. До настоящего

времени эта особенность рассматривалась, скорее, как негативное обстоятельство. Однако утилизация сероводорода, загрязняющего глубинные воды Черного моря, может оказаться ключом к решению проблем энергообеспечения региона, созданию экологически «чистого» транспорта, а также производства чистой пресной воды.

Существует способ переработки сероводорода за счёт реакции диссоциации – разложения H2S на радикалы H* и HS*, а после этого – на водород и серу. Реакция не требует таких энергозатрат, как в случае электролиза.

Предлагаемое направление работ предполагает извлечение сероводорода с глубины от 400 до 1000 м, где в 1 куб. метре морской воды содержится в среднем около 250 г H_2S. Для получения 1 кг водорода требуется 8 кг сероводорода. По предварительным оценкам, экономически оправданным может считаться технологический процесс, обеспечивающий получение не менее 20 кг H_2 в час; требуемый расход сероводорода составляет, таким образом, 160 кг/ч, что соответствует объемному расходу воды 640 $м^3$/ч. При этом для «запуска» технологического цикла потребуется затратить порядка 30 кВт, а в результате будет генерироваться мощность порядка 500 кВт электрической энергии. При отсутствии необходимости в максимальной электрической мощности, получаемой сгоранием водорода в турбогенераторе, часть водорода может запасаться в металлогидридных аккумуляторах.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЯХ РОССИИ НА ПРИМЕРЕ АВГУСТА 2019 И 2020 ГОДОВ

Свергун Е.И.[1,2], Зимин А.В.[1,2], Лазуткина Е.С.[2], Титовской А.В.[3], Кулик К.В.[3]

[1]ИО РАН, г. Москва, Россия
[2]СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
[3]РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия
Egor-svergun@yanex.ru

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, Курило-Камчатский регион, Берингово море, радиолокационные изображения.

В данной работе на примере августа 2019 и 2020 годов будут рассмотрена изменчивость характеристик проявлений КВВ в Беринговом море и Курило-Камчатском регионе.

Исходными данными послужили радиолокационные изображения (РЛИ) со спутников Sentinel-1A и B в режимах съемки IW и EW. Всего 580 РЛИ из которых 279 приходится на 2019 г., а 301 – на 2020 г.. Покрытие исследуемой акватории в 2019 и 2020 годах не имеет существенных различий. Для поверхностных проявлений пакетов КВВ определялись положение проявления, длина волны, длина дуги лидирующего гребня в пакете, направление распространения, количество волн в пакете.

Было зарегистрировано 1106 проявлений КВВ, из которых 508 приходится на август 2019 г., а 598 – на август 2020 г. Отмечаются существенные различия между длинами волн, зарегистрированными в 2019 и 2020 году. Так, в 2019 году максимальная длина волны не превышала 1400 метров, а в 2020 году составляла 1900 метров. Аналогичные различия отмечаются в максимальной зарегистрированной длине лидирующего гребня: в 2019 г. она составляла 45 км, а в 2020 г. – 98 км. Выделены области, где в оба года регистрируется максимальное число волн: около острова Зеленый, в Шипунском и Кроноцком заливах, юго-западнее мыса Наварин. В 2019 г. скопления проявлений КВВ регистрировались над хребтом Витязь, юго-западнее Четвертого Курильского пролива, около островов Прибылова и Лисьих островов. В 2020 в указанных областях зарегистрировано малое количество проявлений КВВ. Напротив, в 2020 году скопления проявлений зарегистрированы в Анадырском заливе и севернее острова Святого Лаврентия, где в 2019 г. было обнаружено минимальное число проявлений.

Выявлена значительная пространственная межгодовая изменчивость районов частой регистрации КВВ. Для выявления причин был выполнен анализ факторов, способных влиять на отображение проявлений КВВ на морской поверхности и интенсивность генерации КВВ.

Данная работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №20-35-90054 аспиранты.

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОТОКА ТЕПЛА НА ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КИСЛОРОДА ПО ДАННЫМ БУЕВ БИО-АРГО В ЗИМНИЙ ПЕРИОД 2017 ГОДА

Свищев С.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия
sergsvishchev09@gmail.com

Ключевые слова: кислород, буи Био-Арго, Черное море, зимнее выхолаживание, температурная конвекция.

Для количественной оценки режимных характеристик растворенного кислорода важным является учет процессов, имеющих место при зимнем выхолаживании. Что выполнено на примере данных буя Био-Арго № 6900807 в глубоководной части Черного моря с 25 января по 6 марта 2017 г.

Изменение бюджета кислорода под действием температурной конвекции происходило в несколько этапов, для детального описания которых рассмотрены содержание кислорода и кислородозапас трех основных слоев вод, разграничиваемых по значению вертикального градиента концентрации кислорода:

верхний квазиоднородный по содержанию кислорода слой (от поверхности до оксиклина, вертикальный градиент концентрации кислорода менее 5 μМ/м). За рассматриваемый период его толщина варьировалась от 44 м (в начале и конце события) до 68 м (9 февраля).

оксиклин (вертикальный градиент концентрации кислорода от 5 до 30 μМ/м). За рассматриваемый период его толщина варьировалась от 17 до 31 м.

верхняя часть субкислородной зоны (вертикальный градиент концентрации кислорода менее 5 μМ/м). За рассматриваемый период глубина залегания верхней границы этого слоя варьировалась от 68 до 92 м.

Рассмотрены поэтапно 9 вертикальных зондирований, выполнявшихся с шагом в 5 дней и высоким вертикальным разреше-

нием (1 м), что в частности позволило оценить скорости поступления кислорода из атмосферы за счет температурной конвекции, а также его последующий перенос глубже 90 м.

Начальные условия (25 января 2017 г.). Минимальная толщина верхнего квазиоднородного по содержанию кислорода слоя. Минимальная степень насыщения кислородом поверхностного слоя, а, следовательно, и поток кислорода из атмосферы за счет градиента концентраций. Термоклин выражен слабо, но соответствует оксиклину.

30 января 2017. Исходя из балансовых соотношений поступление растворенного кислорода из атмосферы за счет температурной конвекции составило около 95 тыс. мл O_2 / м^2 за 5 суток. Рост степени насыщения поверхностного слоя кислородом мал (+ 0,3 %), основная часть ушла глубже. Термоклин выражен слабо, но соответствует оксиклину. Температура верхней части квазиоднородного слоя после первого акта температурной конвекции понизилась на 0,67 °С за 5 дней.

4 февраля 2017. Исходя из балансовых соотношений поступление растворенного кислорода в слои глубже 90 м составило около 27 тыс. мл O_2 / м^2 за 5 суток. Возврат поступившего кислорода в атмосферу отсутствует (т.к. имеет место недонасыщение поверхностного слоя), степень насыщения поверхностных вод медленно уменьшается. Термоклин выражен слабо, но соответствует оксиклину. Температура верхней части квазиоднородного слоя после первого акта температурной конвекции продолжает понижаться, став меньше на 0,15 °С за 5 дней (релаксации температурной структуры не наблюдается).

Рассмотрена гипотеза о том, что система не успевает релаксировать до стационарного состояния между актами температурной конвекции, в результате чего следует каскадное усиление рассматриваемого механизма накачки кислородом глубинных слоев вод.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА СЕЗОННУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОРОДА В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ БУЕВ БИО-АРГО И РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Свищев С.В., Кубрякова Е.А., Кубряков А.А., Лишаев П.Н.

МГИ, г. Севастополь, Россия
elena_kubryakova@mail.ru

Ключевые слова: кислород, органическое вещество, концентрация хлорофилла «а», буи Био-Арго, Черное море, BFM.

Одним из наиболее важных гидрохимических показателей является содержание растворенного кислорода, отражающее состояние морской экосистемы и интенсивность протекания в ней основных биологических и биохимических процессов. Сезонные изменения распределения кислорода в морской воде являются результатом двух групп процессов: физических (конвекционного и ветрового перемешивания вод, сезонных изменений термохалинного режима) и химико-биологических (продукции кислорода в результате фотосинтеза и его потребления на окисление органического вещества).

В настоящий момент информация о влиянии химико-биологических процессов на изменение концентрации кислорода в верхнем слое носит отрывочный характер, в первую очередь, из-за малого количества синхронных данных о характеристиках фитопланктона и концентрации кислорода, а также практически полного отсутствия данных о концентрации растворенной органики. Важным индикатором интенсивности продукционно-деструкционных процессов является изменение концентрации кислорода во времени – $d[O_2]/dt$. С появлением данных буев Арго появилась возможность получать большой массив данных о концентрации кислорода, хлорофилла «а» и окрашенного растворенного органического вещества (CDOM) с высоким вертикальным разрешением.

В первой части работы эти данные использованы для расчета градиента $d[O_2]/dt$ на сезонных масштабах и определения его связи с другими биооптическими характеристиками.

Наиболее интенсивные процессы увеличения концентрации кислорода наблюдаются зимой в слое до изопикны 15,0, что, в основном, связано с зимним выхолаживанием и вовлечением кислорода. Зимние концентрации кислорода достаточно резко уменьшаются в марте-мае на изопикнах 14,0-15,0 со скоростью 20 μM/месяц. Такое уменьшение совпадает с ростом CDOM в этот период, образовавшегося, по-видимому, после окончания интенсивного весеннего цветения диатомовых водорослей. С мая по июль наблюдаются положительные значения $d[O_2]/dt$ в поверхностном слое вод (изопикны 12,5-14,0), достигающие +15 μM/месяц. Этот максимум находится несколько выше подповерхностного максимума концентрации хлорофилла «а» и, вероятно, обусловлен фотосинтетической продукцией кислорода в летний период. За этим максимумом с августа по октябрь следует еще один период отрицательных значений $d[O_2]/dt$ (до минус 20 μM/месяц), занимающих слой от поверхности до изопикны 14,2. Этот минимум, по-видимому, вызван образованием органического вещества, сформированного летним максимумом цветения фитопланктона.

Для проверки этих предположений и оценки влияния биологических процессов на изменения концентрации кислорода была использована одномерная биогеохимическая модель BFM для Черного моря. Результаты моделирования позволили воспроизвести сезонный ход основных биохимических характеристик и оценить вклад продукционно-деструкционных процессов в изменение концентрации кислорода.

Работа выполнена в рамках гос. задания №0555-2021-0003.

НАБЛЮДЕНИЕ ЗА СТАМУХАМИ В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЪЕМКИ

Селюженок В.В.[1], Демчев Д.М.[2], Кессель А.С.[1]

[1]ГОИН, Росгидромет, г. Москва, Россия
[2]ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
v1selyuzhenok@oceanography.ru

Ключевые слова: радиолокационная съемка, стамухи.

В работе представлены результаты наблюдения за стамухами в морях российской Арктики за 2016–2021 гг.. Положение и размеры стамух были получены по парам радолокационных снимков Sentinel-1 C-band Extra Wide Swath с помощью нового автоматизированного алгоритма. В основе алгоритма лежит комбинированная технология расчета полей дрейфа, адаптированная для распознавания неподвижных участков ледового покрова. Методика позволяет распознавать купные стамухи с горизонтальными размерами более 10 км. Полученные сведения о расположении и размерах стамух могут служить в качестве источника справочной информации и применяться при обеспечении безопасности навигации, а также при решении инженерных задач. Представленная методика обнаружения и мониторинга стамух может быть использована для получения оперативных данных о состоянии ледового покрова.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-60033.

ПРОГНОЗ ВЕТРОВЫХ АПВЕЛЛИНГОВ И ЕГО СРАВНЕНИЕ С ДАННЫМИ ТЕРМОКОСЫ, УСТАНОВЛЕННОЙ В ЗАПОВЕДНИКЕ УТРИШ В 2020 Г.

Сильвестрова К.П.[1], Пузина О.С.[2], Мысленков С.А.[1,3]

[1]ИО РАН, г. Москва, Россия
[2]МГИ, г. Севастополь, Россия
[3]МГУ, г. Москва, Россия
silvestrova.kp@ocean.ru

Ключевые слова: прогноз ветрового апвеллинга, Черное море, реанализ, COSMO RU07.

Данное исследование – подготовительный этап для создания системы прогноза ветровых апвеллингов на побережье Черного моря. Основная цель – анализ прогноза ветровых апвеллингов с разной заблаговременностью и сопоставление с данными измерений.

Все модельные данные взяты для ближайшего узла к точке постановки заякоренной термокосы, расстояние между точками <6 км. Термокоса состояла из 7 датчиков температуры Starmon StarOddi, закрепленных на линии от 1 до 16 м. Для оценки прогноза предварительно по данным реанализа NCEP/CFSv2 за теплый период 2020 г. был рассчитан критерий ветрового апвеллинга (Ru), затем выбраны события, для которых высока вероятность возникновения апвеллинга. Для Утриша выявлено 16 событий, 3 из которых произошли в период работы термокосы. В течение этих событий (по показаниям Ru вероятен полный апвеллинг) падение температуры воды на верхнем датчике составило 2–3,5 °С, на придонных датчиках – 5–13 °С (из-за подъема термоклина). Таким образом, рассчитанный по реанализу Ru отражает падения температуры, регистрируемые термокосой.

Для выделенных событий 21–24 июля (1), 31 июля – 3 августа (2) и 11–15 августа (3) проведен анализ прогноза Ru. Модельные данные о течениях на поверхности из продукта BS-PHY NRT (version EAS4) [https://marine.copernicus.eu/], основанные на модели NEMO (1/40°), предполагалось использовать для учета динамики вод. Течения рядом с термокосой были незначительные (<10 см/с), но для событий (2) и (3) видна смена направления с СВ на ЮЗ, что не препятствует апвеллингу. В дальнейшем предполагается использовать расчеты с более высоким разрешением по пространству и вертикали, что позволит точнее учитывать динамику вод в прибрежной зоне.

С архивным прогнозом ветра проведено 6 экспериментальных расчетов, где помимо прогноза событий остальные сроки были заполнены данными реанализа, за точку старта взят срок 00 ч. за дату начала событий (1)–(3). Массив данных архивных прогнозов ветра COSMO RU07 (7 км, 3 ч) получен на каждые сутки для 2020 г. с заблаговременностью от 3 до 72 часов.

Из-за недостаточной заблаговременности прогнозов в 2 экспериментах сравнение проводилось не по Ru, а по значениям экмановского переноса для каждого срока. Важно отметить, что отклонение величины имело разный знак, так, например, во время события (2) – по прогнозам разной заблаговременности была смена направления ветра, что привело к недооценке Ru.

Для события (1) по прогнозу апвеллинг должен быть более сильным, чем по данным реанализа. Для события (2) во всех экспериментах кроме одного получена сильная недооценка Ru (30–

60 %), т. к. в начале периода прогнозировался ветер переменных румбов, препятствующий апвеллингу. Для случая (3) зафиксирована недооценка Ru (10–17 %) в экспериментах с введением прогноза в точке старта и через сутки после, а в экспериментах с прогнозом через 2 суток после точки старта и с прогнозом на каждые сутки события апвеллинг был сильнее чем по реанализу.

Таким образом, прогноз ветра COSMO-RU07 может быть применен для выявления и прогнозирования апвеллинга. Однако требуются детальные оценки качества прогноза апвеллинга с разной заблаговременностью и сравнения с данными измерений в других локациях.

Данная работы выполнена в рамках гранта президента № МК-709.2021.1.5.

НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ПРИБРЕЖНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В РАЙОНЕ ЮБК ПОСЛЕ ИНТЕНСИВНЫХ ОСАДКОВ ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ

Симонова Ю.В., Майборода С.А.

МГИ, г. Севастополь, Россия
julia.simonova.0502@gmail.com

Ключевые слова: осадки, прибрежный мониторинг, ЮБК, спутниковые данные, ветровые характеристики.

Осадки играют большую роль в водном балансе морей и океанов, они являются одним из важных факторов, влияющих на гидрологическую и гидрохимическую структуру водных акваторий. Особенно это касается прибрежных территорий, где обильные осадки также способствуют выносу (смыву) материала различного происхождения с берега, зачастую существенно изменяя характеристики прибрежных вод.

С целью мониторинга процессов, происходящий в прибрежных рекреационных зонах, проведен анализ ситуаций с осадками в прибрежном районе Южного берега Крыма за 2017–2019 гг. За указанный период рассмотрены дни с интенсивными осадками (≥5 мм) по берегового гидрометеорологического пункта ЧГПП

МГИ (пгт. Кацивели, Ялтинский район) с привлечением данных спутникового мониторинга (https://apps.sentinel-hub.com). Также проанализирована ветровая обстановка в эти периоды по данным береговых и спутниковых наблюдений (http://dvs.net.ru).

За исследуемый период выявлено 91 день с осадками 5 мм и более. Больше всего случаев наблюдается в декабре (13 случаев), январе (12), июле (11) и ноябре (10 случаев). Из них 9 случаев – это ливневые осадки преимущественно в теплое время года, когда выпало более 20 мм за сутки. К сожалению, частые облачные ситуации в холодный период года не дают возможность проанализировать все дни с осадками за рассматриваемый период и изучить их влияние на прибрежные процессы по спутниковым снимкам в оптическом диапазоне.

Почти в половине ситуаций с осадками в рассматриваемый период (48 %) наблюдался устойчивый ветер западных румбов (250–300°). По имеющимся спутниковым снимкам сканеров OLI и MSI оптическом диапазоне выявлена и прослежена динамика характерных вдольбереговых субмезомасштабных структур (вихрей, струй), трассерами которых является вымытый осадками с берега материал.

Работа выполнена в рамках гос. задания по теме 0555-2021-0005.

РАЗВИТИЕ СЕТИ МОРСКИХ СИНОПТИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В АРКТИКЕ НА БАЗЕ ДРЕЙФУЮЩИХ БУЕВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Смоляницкий В.М.[1], Мотыжев С.В.[2,3], Смирнов К.Г.[1], Соколов В.Т.[1], Толстошеев А.П.[2,3], Лунев Е.Г.[2,3], Безгин А.А.[2,3]

[1]ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
[2]СевГУ, г. Севастополь, Россия
[3]ООО «Марлин-Юг», п. Матвеев-Курган, Ростовская обл, Россия
vms@aari.aq

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, Евразийская Арктика, синоптическая метеорология, дрейфующий буй.

Основными последствиями изменения климата Арктики, влияющими на выполнение морских наблюдений, являются уменьшение площади и толщин морского льда с одновременным повышением его мобильности (скорости дрейфа) и частоты динамических явлений (зон сжатия, разряжения). Сопутствующими явлениями в полярной атмосфере вследствие общего понижения её стабильности, влияющими на требования к наблюдениям, являются повышение частоты экстремальных погодных явлений на месячном и сезонном масштабах – волн «холода», «тепла», штормовой активности, включая полярные циклоны.

Несмотря на кардинальный прогресс средств спутникового дистанционного зондирования Земли наземные метеорологические наблюдения *in-situ* остаются ключевыми при валидации данных численного анализа и прогноза погоды. Потребности к мониторингу метеорологических параметров отражены в новых стандартов ВМО, принятых на сессиях её технических комиссий в начале 2021 г., а именно требованиях к густоте опорной сети наземных наблюдений (для удаленных районов Мирового океана – не более 500 км между платформами при ежечасной дискретности наблюдений приземного давления и температуры воздуха) и к политике обмена данными.

Специфика и тенденции морской прикладной деятельности в Арктике также задают требования к сетям мониторинга, например, необходимость круглогодичной поддержки базовой густоты наблюдений на западе Северного морского пути (СМП) и её снижение на востоке в период зимней разовой навигации.

Указанные факторы и потребности задают требования к работам по формированию и поддержке сети морских синоптических наблюдений в Евразийской Арктике, проводимой в последние годы совместно ААНИИ Росгидромета и компанией «Марлин-Юг». Наиболее ярко это отражено в достижении в период 2018–2020 гг. (национальная поддержка проекта ВМО «Год полярного прогнозирования» – ГПП) необходимого показателя в 17 базовых платформ наблюдений в морях Баренцевом – Чукотском на основе лагранжевых буев типа SVP-B/40H (координаты, датчики приземного давления, температуры поверхности, опционно температуры воздуха) с ежечасной передачей наблюдений в Глобальную систему телесвязи (ГСТ) ВМО через спутниковую систему Argos. Всего для поддержки указанной густоты сети были выставлены 33 буя на основе попутных экспедиций «БАРНЕО-2018, 2019», «Трансарктика-2019» 1 и 4 этапы, «Мозаика» 2 этап, «Кара-лето 2020».

С точки зрения прикладной метеорологии полученная информация позволила (совместно с другими данными ГПП) на уровне глобальных центров погоды выполнить численные эксперименты по оценке чувствительности моделей и качества прогнозов к густоте опорных наблюдений в Арктике, равно как выявить ряд интересных географических деталей современной динамики морского льда и вод, включая широтные дрейфы буев в Чукотском и Восточно-Сибирском морях, круговороты дрейфа буев в Баренцевом и Карском морях. Одновременно, ААНИИ и «Марлин-Юг» получены технические оценки функциональности и продолжительности работы буев типа SVP-B/40H в зависимости от «суровости» внешней среды. Так, при среднем времени работы 199 суток, наибольшее время функционирования на воде и льду в 419 суток отмечено для буя, попавшего в круговорот в Чукотском – Восточно-Сибирском морях и успешно пережившего периоды замерзания и таяния льда. Однако для ряда буев, попадавших в шторма вблизи кромки льда, особенно в Баренцевом море, время жизни сокращалось до нескольких суток из-за увлечения буя под лед или разрушения битым льдом.

Дальнейшее развитие в 2022–2024 гг. сети синоптических наблюдений на основе дрейфующих буев как морского компонента наблюдательной сети Росгидромета предполагает, во-первых, поддержку густоты сети по крайней мере в 17 буев типа SVP-B/40H в морях Евразийской Арктики на основе постановки два раза в год по 3–4 буя в пределах акваторий морей Баренцева – Чукотского. Во-вторых, для уменьшения вероятности разрушения буя планируется переход к использованию постановок буев в контролируемые «благоприятные» условия работы (удаление от кромки, припайный лед и т. д.) с борта судов на трассах СМП. В-третьих, базовый набор датчиков будет дополнен профильными наблюдениями температуры воды в верхнем 2–5-метровом слое и оценками солености в приповерхностном слое. Наконец, планируется использование спутниковой системы Iridium, позволяющей как более экономную передачу данных, так и двунаправленный обмен информацией с буем. Последнее позволит оперативно контролировать поток информации с буев, находящихся в зонах с различной интенсивностью навигации или изменчивостью метеорологических параметров.

Работа выполнена в рамках плановой научной тематики ААНИИ по теме 3.1.5 плана НИТР Росгидромета.

НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ СКАНИРУЮЩЕГО ЛАЗЕРНОГО ВОЛНОГРАФА

Стерлядкин В.В.[1], Куликовский К.В.[1], Кузьмин А.В.[2], Шарков Е.А.[2], Лихачева М.В.[1]

[1]РТУ МИРЭА, г. Москва, Россия
[2]ИКИ РАН, г. Москва, Россия
constantinkk@mail.ru

Ключевые слова: волнографические измерения, оптические методы, морская поверхность, оптический волнограф, распределение уклонов.

Работа посвящена проведению натурных измерений «мгновенного» профиля морской поверхности с помощью нового оптического метода. В ходе эксперимента получены данные о профилях волнения с точностью 1мм и пространственным разрешением 3 мм. Пространственные масштабы измерений профиля поверхности могут составлять от единиц миллиметров до единиц метров при времени усреднения 10^{-4} с.

Метод основан на временной синхронизации начала сканирования лазерного луча по морской поверхности и начала записи сигнала на видеокамеру. Сигналом является рассеянное на поверхности воды лазерное излучение коротковолновой области видимого спектра. Приведение высот всех точек профиля к единому моменту времени проводится за счет учета вертикальной скорости их перемещения между кадрами и известной задержки луча по отношению к началу развертки. Такая методика позволяет получать практически мгновенные профили морской поверхности и зависит от частоты видеокамеры.

В работе приводятся обоснования выбора рабочей длины волны лазера, его мощностные характеристики, а также перечень дополнительных компонентов для управления развёрткой луча и его модуляции. Также приведены характеристики приёмной системы и регистрации.

Представлена схема и методика измерений, а также алгоритм обработки данных. Обосновываются погрешности метода. Приводятся результаты натурных измерений параметров морского волнения: спектров амплитуд, распределение уклонов при различных пространственных масштабах усреднения.

Экспериментально опробованный метод обладает рядом преимуществ, т. к. полностью дистанционен, что позволяет получать данные без искажений свойств зондируемой поверхности. Измерения не подвержены влиянию ветра, волн и морского течения. В ходе эксперимента была доказана возможность применения предложенного метода в любое время суток и в широком диапазоне погодных условий.

МОДУЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ СОЛЕНОСТИ МОРСКОЙ ВОДЫ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЙ СКОРОСТИ ЗВУКА

Толстошеев А.П., Лунев Е.Г., Мотыжев С.В., Дыкман В.З.

СевГУ, г. Севастополь, Россия
tolstosheev@marlin-yug.com

Ключевые слова: дрейфующий буй, морская вода, скорость звука, температура, соленость.

Достоверность знаний о динамике океана и изменчивости климата в значительной степени ограничивается дефицитом систематических метрологически обеспеченных контактных наблюдений гидрологических параметров морской среды. Наблюдения основаны на получении данных о непосредственно измеряемых характеристиках морской среды, к которым относятся температура, электропроводимость, гидростатическое давление, скорость звука, и вычислении на их основе вторичных параметров – солености, плотности, частоты плавучести. В практике гидрофизических исследований традиционно используются зависимости вычисляемых параметров от температуры, электропроводимости и давления. При этом предполагается бинарный состав морской воды. В действительности же морская вода представляет собой весьма сложный по составу солевой раствор, и, следовательно, вычисление вторичных параметров на основании данных измерений электропроводимости приводит к получению недостоверных

результатов. Скорость звука, в отличие от электропроводимости, характеризует концентрацию всех растворенных в воде веществ. Использование скорости звука для вычисления вторичных гидрологических параметров позволило бы преодолеть указанное ограничение и получить более корректные результаты. То, что такой метод не нашел широкого применения, обусловлено, главным образом, существующим несоответствием характеристик средств прямого измерения скорости звука требованиям, предъявляемым к результатам вычисления вторичных гидрологических параметров.

В рамках решения задачи установления систематического контактного мониторинга термохалинной структуры вод верхнего слоя моря был разработан модуль SVTD вычисления солености по результатам измерения скорости звука, температуры и давления. Конструкция и характеристики модуля ориентированы на долговременную эксплуатацию в составе автономной дрейфующей платформы сбора данных – дрифтера.

По результатам лабораторных испытаний диапазон отклонений результатов измерений скорости звука составил ±0,02 м/с, погрешность измерений температуры – не более 0,004°С; погрешность вычислений солености в морской воде – ±0,03 ‰. По результатам выполненных натурных исследований в условиях интенсивного биологического обрастания погрешность вычислений солености по данным модуля SVTD – ±0,05 ‰, что позволяет рассчитывать на устойчивость характеристик разработанного измерителя скорости звука в реальных условиях длительной необслуживаемой эксплуатации в составе дрифтера.

14 апреля 2021 г. в восточной части Черного моря с борта гидрографического судна ГС-86 были развернуты два автономных дрейфующих буя с модулями SVTD, размещенными на глубинах 3 и 5 м. Данные мониторинга с интервалом 1 ч передавались по каналу спутниковой системы связи Iridium. В ходе многомесячного эксперимента получены долговременные ряды данных об изменчивости термохалинной структуры вод верхнего слоя Черного моря. Результаты оценивания степени достоверности данных позволяют рассматривать дрифтер с модулем измерения скорости звука и температуры в качестве эффективного средства систематического оперативного мониторинга гидрологических параметров верхнего слоя моря.

Работа выполнена в рамках темы госзадания 0827-2018-0005 при финансовой и технической поддержке ООО «Марлин-Юг».

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ И КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА GLORYS12V1

Травкин В.С., Белоненко Т.В.

СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
v.travkin@spbu.ru

Ключевые слова: Лофотенский вихрь, мезомасштабные вихри, спутниковые данные.

Лофотенская котловина (ЛК), находящаяся в северо-восточной части Норвежского моря, характеризуется высокой энергоактивностью, а также наличием в центральной части квазипостоянного антициклонического Лофотенского вихря [1]. Также ЛК является важным транзитным регионом, связывающим теплые и соленые атлантические воды с Арктическим бассейном. С западной стороны Лофотенскую котловину огибает Норвежское фронтальное течение, тогда как с восточной – бароклинно неустойчивое Норвежское склоновое течение. Данная неустойчивость способствует активному меандрированию мезомасштабных вихрей, в дальнейшем распространяющихся в центральную часть ЛК и поддерживающих Лофотенский вихрь.

В работе анализируется средняя кинетическая энергия (Mean Kinetic Energy – MKE), вихревая кинетическая энергия (Eddy Kinetic Energy – EKE), а также вихревая доступная потенциальная энергия (eddy Available Potential Energy – APE) и средняя доступная вихревая энергия (Mean available Potential Energy – MPE). APE представляет разность между общей потенциальной энергией жидкости в настоящий момент времени и потенциальной энергией жидкости с той же массой, при условии, что изостерическая и изобарические поверхности одного уровня [2]. EKE как правило используется для анализа мезомасштабной активности Мирового океана.

В работе используются данные по температуре, солености, u и v компонентах скоростей, глобального реанализа GLORYS12V1

за 2010–2018 гг. GLORYS12V1 – это вихреразрешающий реанализ с пространственным разрешением порядка 8 км (1/12°), и с временным разрешением 1 сутки. Основой GLORYS12V1 является модель NEMO с форсингом ECMWF ERA-Interim, также в реанализе ассимилируются данные спутниковой альтиметрии, вертикальные профили термохалинных характеристик *in situ*, температура поверхности моря и концентрация морского льда.

1. Циркуляция вод в Лофотенской котловине Норвежского моря / Т. В. Белоненко [и др.] // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2014. № 2. С. 108–121.

2. Reid R. O., Elliott B. A., Olson D. B. Available potential energy: A clarification // Journal of Physical Oceanography. 1981. Vol. 11, iss. 1. P. 15–29. https://doi.org/10.1175/1520-0485(1981)011<0015:APEAC>2.0.CO;2.

ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ВОД СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ВЕСНОЙ 2018 Г. ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ НА НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»

Федирко А.В., Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А., Никольский Н.В., Шаповалов Р.О., Дерюшкин Д.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия
vault102@gmail.com

Ключевые слова: Черное море, гидрологические измерения, термохалинная структура вод, Основное черноморское течение, верхний квазиоднородный слой, холодный промежуточный слой.

По данным гидрологических измерений, выполненных в ходе 106-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» с 18.04 по 13.05 2019 г., показано, что максимальная скорость Основного черноморского течения (ОЧТ) наблюдалась над материковым склоном к югу от Крымского п-ова (50 см/с по геострофическим расчетам, 35–40 см/с по инструментальным измерениям). В центральной части полигона во всем слое измерений был выявлен циклониче-

ский круговорот диаметром около 60 миль, в юго-западной части – северная периферия Западного крупномасштабного циклонического круговорота (ЗЦК).

Температура на поверхности моря (ТПМ) в западной части полигона не превышала 12,5°С. Ее минимум (ниже 10,5 °С) наблюдался в мористой части полигона к югу от Крыма и у западной границы съемки. В структуре поля ТПМ прослеживались две квазимеридиональные фронтальные зоны, положение которых совпадало с западной (35° в. д.) и восточной (37° в. д.) периферия циклонического круговорота. Перепад температуры во этих фронтальных зонах достигал 1,5°С (от 11,5 до 13°С и от 14 до 15,5 °С соответственно). Далее на восток температура повышалась и достигала максимума (16–16,5 °С) у берегов Кавказа.

Максимальная соленость на поверхности (СПМ) (18,5–18,7 ‰) наблюдалась в зонах циклонических образований в юго-западной и центральной части полигона. Понижение СПМ (ниже 18,2 ‰) отмечалось вдоль всего побережья от берегов Кавказа до западных берегов Крыма. Минимум СПМ (17,0–17,3 ‰) наблюдался к югу от Керченского п-ова и у берегов Кавказа.

В западной части полигона наблюдался верхний квазиоднородный слой (ВКС) относительно теплых вод толщиной от 2 м до 12 м, формирование которого было связано с весенним прогревом. Под весенним (верхним) ВКС хорошо прослеживался старый (нижний) ВКС, который сформировался в предшествующий зимний период. Глубина залегания нижней границы этого ВКС изменялась от 20 м на юго-западе съемки ближе к центру ЗЦК до 69 м на шельфе и над свалом глубин. Восточнее 35,5° в. д. нижний зимний ВКС был выражен гораздо слабее, чем в западной части полигона. Его нижняя граница располагалась на глубинах 17–25 м. Вертикальная мощность верхнего весеннего ВКС составляла 5–12 м. Минимальная глубина его нижней границы (5–6 м) наблюдалась на восточной периферии центрального циклонического круговорота.

Повышение температуры в ядре холодного промежуточного слоя (ХПС) совпадало с увеличением глубины его залегания. Самая высокая температура в ядре ХПС (выше 8,6 °С) наблюдалась в северо-западном районе съемки и у южных берегов Крыма, где глубина залегания ядра увеличивалась до 110–120 м. Минималь-

ные значения температуры в ядре ХПС (7,85–8,05 °С) прослеживались в виде отдельных пятен в глубоководной части съемки, где отмечалось уменьшение глубины залегания ядра ХПС до 40–50 м.

Глубина залегания верхней границы сероводородной зоны по изопикне 16,2 усл. ед. изменялась от 90 м (в зонах циклонических меандров) до 200 м (над прибрежным шельфом и свалом глубин). Глубже границы сероводородной зоны (150–500 м) максимальные значения термохалинных параметров наблюдались на юге съемки, минимальные – над свалом глубин, что обусловлено наклоном в сторону берега в зоне ОЧТ термоклина и галоклина.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ № 0555-2021-0004.

СОГЛАСОВАНИЕ CTD-ДАННЫХ ПРОГРАММЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ МИРОВОГО ОКЕАНА С ПОМОЩЬЮ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ С ДАННЫМИ, ПОЛУЧЕННЫМИ С СУДОВ, В ЗАЛИВЕ ПРЮДС

Федотова А.А.[1], Антипов Н.Н.[2]

[1]ИО РАН, г. Москва, Россия
[2]ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
fedotovalina@yahoo.com

Ключевые слова: Южный океан, залив Прюдс, структура вод, водная масса, ARGO, MEOP.

Запуск международной программы по исследованию мирового океана с помощью морских млекопитающих (MEOP/ Marine Mammals Exploring the Oceans Pole to Pole) открыл новый этап исследований в прибрежных районах Южного океана. Из-за удалённости и практически сплошного покрытия морским льдом структура вод шельфовой зоны залива Прюдс практически не исследовалась в холодный период. Исследования залива Прюдс проводились только с помощью дистанционных методов, на основе данных заякоренных буёв либо в районах Антарктических станций. Таким образом, главной ценностью базы CTD данных MEOP является наличие данных, полученных в холодный период в прибрежных районах Южного океана. На шельфе залива Прюдс

максимальная плотность данных приходится на районы трёх крупных полыней (Маккензи, Дейвис и Барриер) в период с апреля по ноябрь. В базу входит более 10000 станций для периода с февраля по декабрь. Однако база данных MEOP имеет низкую точность CTD данных, поэтому нуждается в подтверждении более точными данными, полученными в ходе экспедиционных исследований. В связи с этим целью предложенного доклада является выявление согласованности CTD-данных программы MEOP с данными, полученными с судов, в заливе Прюдс.

Выявлено согласование данных, полученных в ходе программы MEOP и Российской Антарктической экспедиции (РАЭ) в тёплый период (январь-апрель) 2015 г. По результатам анализа базы MEOP-CTD в период с января по май 2015 г. в западном секторе залива Прюдс на глубинах 200–450 м выявлены Воды шельфовый ледников (ВШЛ). На разрезе, выполненном в центральной части залива в ходе 60-й РАЭ (27–29 января 2015 г.), в западной части залива Прюдс в районе отмели Фрама также зафиксированы ВШЛ.

Анализ базы данных MEOP-CTD за холодный период 2011–2013 и 2015 гг. позволил выявить наличие затоков модифицированных Циркумполярных глубинных вод в районе банки Фор Ледис в период с мая по октябрь. На разрезе, выполненном в июле 1997 г. в ходе отечественных исследований в том же районе, также был зафиксирован заток модифицированных Циркумполярных глубинных вод. Стоит отметить, что уникальные данные, полученные в холодный период в ходе отечественной экспедиции, являются единственным подтверждением вывода, сделанного на основе анализа базы MEOP-CTD, о наличии затоков МЦГВ в районе банки Фор Ледис в холодный период.

ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БЮДЖЕТА ПЛОСКОЙ УСТРИЦЫ

Филиппова Т.А., Васечкина Е.Ф.

МГИ, г. Севастополь, Россия
deryabina1993@yandex.ru

Ключевые слова: аквакультура, имитационное моделирование, озеро Донузлав, европейская устрица *Ostrea edulis*.

Культивирование двустворчатых моллюсков является на сегодняшний день единственным видом аквакультуры в прибрежной зоне Крыма. Привлекательность ее в том, что для выращивания моллюсков не требуется дополнительного внесения кормов, соответственно, воздействие на морскую экосистему минимально. Однако известны отрицательные последствия выращивания больших объемов моллюсков на ограниченной территории. Определить экологическую емкость района размещения аквакультуры возможно только с применением методов имитационного моделирования. Целью данной работы является верификация математической модели энергетического баланса европейской устрицы *Ostrea edulis* с использованием натурных данных, полученных на устричной ферме озера Донузлав, для ее дальнейшего внедрения в комплексную имитационную модель функционирования устричного хозяйства. Результаты математического моделирования могут быть использованы при планировании устричного хозяйства и воспроизводства популяции моллюска.

В основе модели лежит уравнение энергетического баланса: $P=A–R$, т.е. энергетические затраты на рост представляют собой разницу между ассимилированной энергией $A=I–E$ (I – энергетический эквивалент отфильтрованной моллюском органической взвеси; E – экскретируемая энергия в виде фекалий, псевдо-фекалий и жидких выделений) и энергетическими затратами на дыхание R. Поступление энергии с кормом зависит от скорости фильтрации моллюска. В свою очередь, скорость фильтрации зависит от температуры среды, концентрации кормовой взвеси и размеров моллюска. Интенсивность дыхания и экскреции моллюска также зависят от температурных условий и размерной группы моллюска.

Для параметризации энергетических характеристик были использованы функциональные зависимости, полученные в лабораторных экспериментах с устрицами, выловленными в озере Донузлав. Верификацию модели проводили по натурным данным о динамике весового и линейного роста культивируемой европейской устрицы в течение 30 месяцев (сырой вес мягких тканей и высота раковины), опубликованным в диссертации Н. А. Сытник. Управляющими параметрами имитационной модели являются температура воды и концентрация кормовой органической

взвеси, однако последняя не была указана в данных, использованных для верификации. Для задания ее изменчивости использовали годовой ход концентрации фитопланктона, характерный для прибрежной зоны Крыма. Сравнение модельного расчёта сырого веса мягких тканей и высоты раковины моллюска с натурными данными показало хорошую сходимость этих величин в течение двух с половиной лет модельного времени. Наблюдаемые незначительные расхождения обусловлены возможным несоответствием модельного графика концентрации кормовой взвеси ее реальной сезонной изменчивости.

За период расчета было отмечено 4 периода нереста. Максимальная скорость дыхания была зафиксирована в период четвертого нереста при температуре 24 °C и составила 0,75 мл O_2/час при массе моллюска 27 г и длине раковины 55 мм. Максимальная скорость фильтрации наблюдалась при температуре 22–24 °C на третьем году жизни устрицы и составила 3,5 л/час. За 30 месяцев отношение генеративной продукции к соматической увеличилось с 0,08 до 0,4. Количественные оценки перечисленных величин соответствуют опубликованным натурным данным для устрицы *Ostrea edulis*, что позволяет использовать представленную модель для дальнейших исследований.

ОСОБЕННОСТИ ГАЗОПРОЯВЛЕНИЙ НА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ, РЕГИСТРИРУЕМЫХ ПО КОСМИЧЕСКИМ ОПТИЧЕСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Ходаева В.Н., Харченко В.Д., Замшин В.В.

НИИ «АЭРОКОСМОС», г. Москва, Россия
viktor.v.zamshin@gmail.com

Ключевые слова: дистанционное зондирование, морская поверхность, газ, газопроявления, выходы газа, оптические многоспектральные изображения.

Выходы газа на морскую поверхность (газопроявления) могут регистрироваться по космическим оптическим многоспектральным изображениям. Возникновение оптических контрастов, обусловленных воздействием выходов газа на морскую поверхность,

связано с рядом физических механизмов, основные из которых это: изменение коэффициентов спектрального пропускания приповерхностного слоя в связи с наличием пузырьков, изменение спектрального состава поверхностного волнения и др. Источниками газопроявлений на морской поверхности являются грязевые вулканы, газогидратные отложения, донные просачивания и др.

Целью данной работы является исследование и систематизация форм газопроявлений на морской поверхности и возможностей их идентификации по космическим оптическим многоспектральным изображениям. С использованием космических оптических многоспектральных изображений, полученных со спутников Sentinel-2A/B, исследовались акватории Каспийского, Чёрного и Охотского морей, а также озера Байкал.

В результате дешифрирования космических оптических многоспектральных изображений были зафиксированы десятки случаев регистрации газопроявлений. Формы газопроявлений различны. Обнаруженные в Каспийском море газопроявления представляются в виде пятен сложной формы, характеризующихся положительными контрастами и наличием общей точки (точка всплытия). В Охотском море, в период полного ледостава, обнаружены газопроявления, проявляющиеся в виде оптических неоднородностей льда. На поверхности Черного моря обнаружены газопроявления, сопровождающиеся волнами, имеющими вид концентрических окружностей, окаймляющих точку всплытия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2020-776.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОТБОРА ПРОБ ВОДЫ НА ОСНОВЕ ДОСТУПНЫХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ – МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO И РАДИОМОДУЛЯ NRF24L01

Хурчак А.П., Багаев А.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия
khurchak@gmail.com

Ключевые слова: прибрежные исследования, беспилотное маломерное судно, радиоуправление.

В настоящее время в прибрежных исследованиях акваторий все большее распространение получают беспилотные маломерные суда, оснащенные различными датчиками и системами телеметрии для сбора данных о состоянии водной среды *in situ*. Однако, отбор проб воды для лабораторных исследований по-прежнему актуален.

Цель настоящей работы состояла в разработке прибора для дооснащения маломерного судна, способного по команде с берега дистанционно отбирать пробы воды и доставлять их на берег.

Конструктивно «пробоотборник» состоит из трех основных частей: 1) пульта радиоуправления на шесть каналов (из тридцати двух потенциально возможных), 2) кассеты из шести пневматических модулей пробоотбора с собственными пневмопроводами, пробирками на 3 мл и клапанами, 3) модуля примника радиосигнала и управления модулями пробоотбора. Также, для удобства работы, все функциональные детали прибора оснащены монтажными конструкциями, для надежного крепления на борту и быстрого съема при необходимости.

По понятным причинам, к прибору предъявлялись требования минимальности массо-габотитных показателей. Поэтому, большинство конструктивных элементов оригинальны и были изготовлены из пластика с помощью аддитивных технологий. Т. о., габаритные показатели получились следующие: 1) у пульта радиоуправления – 40×80×150 мм, не считая внешней антенны, 2) один модуль проботбора – 50×72×30 мм, 3) модуль приема и управления – 70×70×70 мм, без учета внешней антенны и собственного блока питания.

Для обеспечения радиосвязи и управления пневматическими модулями использовались самые простые и доступные, в условиях карантина, комплектующие: **Arduino nano, NRF24L01** (2,4 ГГц) с внешней антенной, цифровой сервопривод **MG90S,** источником питания служит **power bank Xiaomi на 20000 MaH.** В ходе полевых испытаний, прибор в целом доказал свою работоспособность. Из замечаний, стоит указать только выявленный заводской брак антенн радиомодулей NRF24L01, из-за чего они были заменены на антенны собственной конструкции типа «клевер».

В результате первых испытаний прибора удалось становить устойчивую связь на дистанции порядка 200 м, при ожидаемых 1000 м. Причины потери сигнала на больших дистанциях пока не

выявлены и требуют дополнительных исследований. Однако, выбранная изначально модульная концепция прибора предполагает возможности для дальнейшего совершенствования и модернизации, путем замены только отдельных частей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта №20-45-920019.

ОБМЕН ВЗВЕШЕННЫМ ВЕЩЕСТВОМ МЕЖДУ ВИСЛИНСКИМ ЗАЛИВОМ И БАЛТИЙСКИМ МОРЕМ В КОНТЕКСТЕ ОЦЕНКИ СЕДИМЕНТАЦИОННОГО БАЛАНСА ЗАЛИВА

Чубаренко Б.В., Закиров Р.Б., Чечко В.А.

ИО РАН, г. Москва, Россия
chuboris@mail.ru

Ключевые слова: лагуна, седииментационный баланс, взвесь, течения, потоки, измерения.

Представлен обзор результатов по оценке седиментационного бюджета Вислинского залива – одной из самых больших лагун Балтийского моря. Обсуждается изменения компонент бюджета в связи с гидравлической модификацией системы залива в историческое время и проблема седиментационного дисбалланса, приводящего к постепенному изменению батиметрической структуры залива.

Проведен анализ натурных измерений характеристик водообмена и потоков взвешенного материала (горизонтальных и вертикальных) в районе единственного пролива, соединяющего залив с Балтийским морем. Измерения проводились при различных погодных условиях в зимний, весенний и летний сезоны 2019–2020 гг.

Оценки горизонтальных потоков взвешенного вещества сопоставлены с оценками, выполненными ранее на основе численного моделирования. Сделаны выводы о роли данного компонента в полном седиментационном бюджете Вислинского залива.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-35-90069 (экспедиционные работы) и темы 0128-2021-0012 гос. задания ИОРАН.

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ЗНАЧИМЫХ ПАРАМЕТРОВ МОРСКОЙ СРЕДЫ АТЛАНТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ АНТАРКТИКИ ПО ДОЛГОВРЕМЕННЫМ РЯДАМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Шлюпиков В.А., Замшин В.В.

НИИ «АЭРОКОСМОС», г. Москва, Россия
tavolga.rusher@gmail.com

Ключевые слова: спутниковая океанография, дистанционное зондирование, мониторинг акваторий, сплочённость льда, температура, Южный Океан, глобальное потепление.

Проведено исследование динамики сплочённости морского льда, температуры и уровня морской поверхности в Атлантической Антарктике на основе долговременных рядов спутниковых данных, обобщённых с помощью моделей NOAA OISST и HYCOM. Исследования проводились в районе, ограниченном 53° и 67° ю. ш. и 75° и 37° з. д., который является одним из немногих районов Мирового океана, где в межгодовой динамике наблюдается похолодание (а не потепление, характерное для большей части акваторий Мирового океана).

Всего было учтено ~14 тыс. суточных значений температуры морской поверхности и столько же значений сплочённости морского льда для каждой из ~10^3 пространственных ячеек области интереса (данные доступны начиная с 1981 г.). Выделены зоны с различной среднегодовой сплочённостью морского льда. Кроме того, были выделены зоны с разнонаправленными трендами температуры морской поверхности, преимущественно отрицательными. Результаты анализа позволили наблюдать необычный процесс – похолодание Атлантической Антарктики в XXI веке на фоне глобального потепления.

На основании анализа данных об уровне морской поверхности HYCOM (доступны начиная с 1993 г.) выделены участки, характеризующиеся трендами различной направленности, указывающими на сложное пространственное распределение изменчиво-

сти уровня в долгосрочной ретроспективе. Наблюдается пространственная согласованность зон с необычной динамикой температуры морской поверхности и уровня морской поверхности. Локальный участок наиболее интенсивного похолодания (~0.03°C в год), расположенный между 50° и 62° з. д., 55° и 60° ю. ш., совпадает с локальным участком снижения уровня морской поверхности (~8 мм в год).

Наблюдаемые особенности пространственного распределения динамики изученных значимых параметров водной среды определяются поступлением (стоком) антарктического льда, а также сочетанием сложного рельефа дна и гидродинамики в районе интереса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Минобрнауки России в рамках соглашения №075-15-2020-776.

ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА ПОЛЕЙ ВОЛНЕНИЯ В УРАГАНАХ

Юровская М.В.[1,2], Кудрявцев В.Н.[2,1]

[1]МГИ, г. Севастополь, Россия
[2]РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия
mvkosnik@gmail.com

Ключевые слова: ураганы, тропические циклоны, поля высоты и длины волн, автомодельность волн в циклонах.

Наблюдение и моделирование полей волнения в ураганах имеет большое значение для обеспечения безопасности береговых сооружений и судоходства, исследования береговой эрозии, прогноза зыби. Современные модели способны с высокой точностью предсказывать характеристики волн, генерируемых циклонами, однако для этого требуются специальные навыки работы с моделями, большие компьютерные мощности и детальные измерения полей ветра. В данной работе предлагаются упрощенные универсальные решения, позволяющие получить оперативные

предварительные оценки волновых полей по нескольким параметрам урагана (максимальная скорость ветра um, радиус циклона Rm и скорость его смещения V).

Автомодельность полей волнения в циклоне была установлена на основе ряда расчетов с использованием параметрической модели развития волн под действием пространственно-неоднородного поля ветра, примененной к случаю циклонического поля ветра. Модель основывается на законах сохранения энергии и импульса и учитывает приток от ветра, диссипацию, связанную с обрушениями волн, и нелинейные взаимодействия волн. Параметры модели были определены путем применения уравнений к классическому случаю автомодельного развития волн от берега под действием однородного ветра.

Расчеты проводились для стационарного случая (циклон не движется) в широком диапазоне входных параметров (Rm, um) и для циклонов, движущихся со скоростями от 3 до 12 м/с. Как известно, при движении циклона в его правом (относительно направления движения) секторе возникает условие резонанса групповой скорости волн со скоростью циклона, что приводит к увеличению времени развития волн и, соответственно, их энергии и длины по сравнению со стационарным случаем. При скорости циклона, превышающей некоторое пороговое значение, условие резонанса не может быть выполнено, волны обретают меньшую энергию, чем в стационарном случае, и остаются позади движущегося циклона.

Результаты расчетов были представлены в виде автомодельных функций, являющихся обобщением одномерных законов развития на случай волн, генерируемых циклоном. Показано, что при использовании нормировки, включающей основные параметры циклона (Rm, um, V), распределения характеристик волнения автомодельны. Частота и энергия волн определяются с помощью универсальных функций, аналогичных стандартным законам развития волн, где в качестве длины разгона используется радиус циклона, нормированный на максимальную скорость ветра и ускорение свободного падения.

Сопоставление полей волнений, полученных с помощью универсальных функций, с натурными измерениями волн в ураганах, показало их хорошее соответствие, что открывает возможность

использования предложенного подхода в различных научных и практических приложениях для быстрых и надежных оценок волнения, не требующих сложных вычислений.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №21-17-00236 и государственного задания №0555-2021-0004.

РАДИОЛОКАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОБРУШЕНИЙ ВЕТРОВЫХ ВОЛН

Юровский Ю.Ю., Кудрявцев В.Н., Гродский С.А., Шапрон Б.

МГИ, г. Севастополь, Россия
yyyurovsky@gmail.com

Ключевые слова: ветровые волн, обрушения, радиолокация, сечение обратного рассеяния.

На основе синхронных радиолокационных измерений и видеонаблюдений морской поверхности получена прямая экспериментальная оценка радиолокационной удельной эффективной площади рассеяния (УЭПР) участков поверхности, занятых обрушивающимися ветровыми волнами. Данный параметр является ключевым в формировании неполяризованной компоненты «яркости» радиолокационных изображений при умеренных углах обзора, характерных для РСА-съемки. Обособление компоненты, связаной с обрушениями от стандартных резонансснной (бреггов-ской) и зеркальной составляющих, позволяет визуализировать на РСА-изображениях процессы, тесно связанные с обрушениями, например, процессы взаимодествия волн с течениями, дном, атмосферой.

В качестве первого приближения, измеренная калиброванная УЭПР морской поверхности сравнивалась с оптической долей площади пятна облучения, занятой обрушением. Несмотря на четко прослеживаемую связь между двумя этими параметрами, оптическая доля не является оптимальным параметром для описания радиолокационных образов обрушений. В качестве альтернативы предлагается использовать длину обрушивающего гребня, его скорость и эмпириески полученный масштаб времени

жизни активной фазы обрушения, произведение которых дает оценку площади ометания (раскрытия) поверхности в процессе обрушения. На основе данной концепции предложена радиолокационная модель обрушения, построенная на базе приближения геометрической оптики, и заимствующая лабораторные параметризации шероховатости и диссипации энергии обрушения. Разработанная модель позволяет описать обнаруженные в натурном эксперименте закономерности.

Работа выполнена при поддержке Госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ №0555-2021-0004.

ПЛАНКТОННОЕ СООБЩЕСТВО КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА В СЕНТЯБРЕ 2020 Г.

Ясакова О.Н.[1], Литвин А.Ю.[2]

[1]ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия
[2] НУНИМБЦ КубГУ, г. Новороссийск, Россия
yasak71@mail.ru

Ключевые слова: фито- и зоопланктон, таксономический состав, численность, биомасса, Керченский пролив, Черное море.

Исследования планктонных сообществ в акватории Керческого пролива были выполнены на 10 прибрежных (район косы Чушка) и 3 более отдаленных от берега станциях в сентябре 2020 г. Пробы фитопланктона отбирали с борта судна в светлое время суток с поверхности воды батометром; отбор проб зоопланктона производили сетью Джеди тотально.

В составе **фитопланктона** исследуемого района обнаружено 54 вида и 7 классов водорослей: Bacillariophyceae, Dinophyceae, Cyanophyceae, Chlorophyceae, Euglenophyceae, Cryptophyceae, Prymnesiophyceae. Наиболее широко представлены были диатомовые (24 вида) и динофитовые водоросли (19). Максимальные величины численности фитопланктона (1261 тыс. кл./л) были отмечены в прибрежном районе (глубиной до 6 м). В более глубоководном районе Керческого пролива (глубиной до 15 м) обилие

планктонных водорослей было в 4 раза ниже (325 тыс. кл./л). Несмотря на высокие величины численности, значения биомассы фитопланктона в прибрежном районе были минимальными (381 мг/м^3). Доминировали диатомовые водоросли (88 % общей численности и 81 % биомассы), наиболее многочисленными были виды мезосапробного комплекса: *Skeletonema costatum, Leptocylindrus minimus* и *Cyclotella* sp. В более глубоководном районе величины биомассы (1516 мг/м^3) в 4 раза превышали показатели, отмеченные на прибрежных станциях. Превалировал (87 % биомассы и 48 % общей численности) вид динофитовых *Prorocentrum micans*. Обильное развитие мезосапробных видов диатомовых и динофитовых водорослей обычно связано с высокой степенью эвтрофирования вод.

В составе **зоопланктона** обнаружено 20 таксономических единиц. Среди голопланктона отмечены копеподы: *Acartia clausi, A. tonsa, Oithona davisae, Centropages pontica, Harpacticoida* sp.; кишечнополостные *Hydrozoa* sp., щетинкочелюстные *Sagitta setosa,* оболочники *Oikopleura dioica* и простейшие *Tintinnida* sp., *Foraminifera* sp. Меропланктон был представлен личинками моллюсков: *Bivalvia, Gastropoda,* червей – *Nematoda, Polychaeta, Spio filicornis*; усоногих *Balanus,* ракушковых *Ostracoda* и десятиногих раков *Pisidia longimana***,** *zoea Macrura.* В прибрежном районе средние величины численности и биомассы зоопланктона составили 833 экз./м^3 и 11,05 мг/м^3. Превалировала группа копепод – 45 % общей численности и 43 % биомассы. Наибольшее значение имели *Acartia clausi, A. tonsa, Oithona davisae* (в сумме 37 % общей численности). В целом *A. clausi* лидировала по биомассе – 26 %. Среди меропланктона *Balanus larvae* и полихеты *Polychaeta larvae* формировали 40 % общей численности и 32 % биомассы. Величины численности и биомассы зоопланктона в глубоководном районе (166 экз./м^3 и от 0,901 мг/м^3) в 5–12 раз уступали значениям, отмеченным в прибрежном районе. Копеподы формировали значительную часть численности (77 %) и биомассы (51 %). Наибольший вклад отмечен у *A. tonsa* и *Oithona davisae* (44 и 28 % численности и 13 и 16 % биомассы). Среди меропланктона максимальное развитие получили усоногий рачок *Balanus larvae* и полихета *Polychaeta larvae* (22 % общей численности и 55 % биомассы).

Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, № гр. проекта АААА-А18-118122790121-5.

СЕКЦИЯ 3
«РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕСУРСОВ МОРСКОЙ СРЕДЫ»

ГОЛОЦЕНОВЫЕ БЕРЕГОВЫЕ ЛИНИИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА ПО ДАННЫМ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ

Аксенов А.О., Большиянов Д.Ю.

ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
aksenov2801@gmail.com

Ключевые слова: Ладожское озеро, колебания уровня воды, голоцен, геоморфологическое профилирование, береговые валы.

Голоценовая история развития Ладожского озера характеризуется постоянными колебаниями уровня воды. Вследствие этого, побережье озера характеризуется большим количеством береговых форм рельефа, таких как бары, валы, террасы. По данным предыдущих исследователей выделяется две трансгрессивные фазы. Первая соотносится с Анциловой трансгрессией Балтийского моря, вторая (с максимальной стадией 3100–2800 лет назад) выделяется как самостоятельная. Однако последнее полноценное исследование береговых образований водоема было опубликовано в 1915 г. и базировалось только на данных относительного датирования. В данной работе представлены результаты собственных исследований побережья озера.

Для выделения береговых линий использовался метод геоморфологического профилирования. На 4 объектах с выраженным развитием береговых форм рельефа, расположенных на западном и северном берегах озера (с юга на север: Тайпаловский залив, Владимировский залив, Моторная бухта, остров Ристисаари) была проведена нивелирная съемка от уреза воды до последних образований предположительно голоценового возраста. Данные

съемки были приведены к абсолютному уровню по водомерному посту в бухте Моторной. На профилях были выделены береговые линии, которые были скоррелированы друг с другом, а также с данными датирования болотных кернов и отложений береговых форм.

Нами были выделены 4 береговые линии, включая современный пляж. Формирование последнего по радиоуглеродным датировкам древесины в его тыловом шве (абс. высота 6,2–6,9 м) началось во второй половине XX века. Выше сформирована терраса, высотные отметки которой не соотносятся ни с Ладожской, ни с Анциловой трансгрессией. Коррелируя с археологическими и палеогеографическими данными, мы можем оценить ее возраст в 1100–600 лет назад. Высота террасы – 8,0–9,8 м. Терраса Ладожской трансгрессии фиксируется на всех объектах на высоте от 14,3 до 15,3 м. Судя по возрасту гиттий, вскрытых в болотных кернах она формировалась около 2600 л.н. Анциловая терраса фиксируется только в бухте Моторной на высоте 21,1 м. В кернах болот Тайпаловского и Владимировского заливов наблюдаются пляжевые осадки. Возраст растительных остатков в этих отложениях находится в интервале 7000–6500 лет назад. Высота залегания этих отложений равна 11 м в Тайпаловском заливе и 16,4 м во Владимировском заливе. Предполагается, что эти осадки коррелируются с террасой бухты Моторная.

Соотнося полученные результаты с данными предыдущих исследователей, были идентифицированы 4 голоценовых этапа развития Ладожского озера: ранне- среднеголоценовая трансгрессия, закончившаяся 7000–6500 лет назад, позднеголоценовая трансгрессия с максимальной стадией развития 2800–2600 лет назад, трансгрессия 1100–600 лет назад и последняя стадия формирования современной береговой зоны с начала XX века. Также установлено отсутствие влияния гляциоизостатического фактора на Приладожье в голоцене. Все уровни, за исключением Анцилового находятся на одной высоте. Изменение уровня последнего с 11 до 21,1 м характеризуется слишком большим градиентом (10 м превышения на 45 км) и, вероятно, обусловлен блоковыми неотектоническими движениями в раннем-среднем голоцене.

УСТЬЕ ПЕЧОРЫ: ХОТЬ И «МИКРО-», НО ВСЁ-ТАКИ ПРИЛИВНОЕ

Алабян А.М.[1,2], Василенко А.Н.[1], Демиденко Н.А.[3], Крыленко И.Н.[1,2], Панченко Е.Д.[1], Платонов С.В.[1], Попрядухин А.А.[1], Севастьянова Л.Ю.[4]

[1]МГУ, г. Москва, Россия
[2]ИВП, г. Москва, Россия
[3]ИО РАН, г. Москва
[4]ОГМС Нарьян-Мар СевУГМС, г.Нарьян-Мар, Россия
andrei_alabyan@mail.ru

Ключевые слова: дельта Печоры, распределение стока по рукавам, приливный цикл, трансформация приливной волны.

Приливные колебания уровня моря являются ключевым фактором динамики вод в многорукавной дельте Печоры в период межени. В августе 2020 г. состоялась гидрологическая экспедиция, результаты работы которой позволяют коренным образом переосмыслить динамику вод в микроприливной дельте крупнейшей реки Европейского сектора Российской Арктики. Использование новейшего гидрологического и геодезического оборудования позволило выявить ранее неизвестные особенности циклических изменений гидравлических параметров основных рукавов дельты. Неравномерное изменение уровней воды вдоль побережья Коровинской губы приводит к возникновению реверсивных течений и существенному перераспределению стока между главным руслом Печоры и системами основных дельтовых рукавов – Тундровый шар и Средний шар.

Величина приливных колебаний уровня воды у мыса Болванский в устье главного русла Печоры составляла 0,8–1,0 м, они прослеживались и выше вершины дельты у опорного гидрологического поста с. Оксино 141 км от устьевого створа. Стоковый расход Печоры составлял 1,5–2,0 тыс. м^3/с. В низовьях основного русла Большой Печоры (в 16 км от устьевого створа) наблюдались реверсивные движения водных масс с максимальными расходами воды 4,11 тыс. м^3/с в сторону реки на приливе и 4,76 тыс. м^3/с в сторону моря на отливе. При этом поступления осолоненных морских вод в русло зафиксировано не было.

На участке от с. Оксино до с. Андег распределение стока между рукавами Большая и Малая Печора практически не зависело от фазы приливного цикла и составляло 43 на 57 % в пользу Малой Печоры. При этом в правобережных второстепенных рукавах Глубоковский и Городецкий Шар транзитный сток отсутствовал, течения в них носили исключительно реверсивный характер и инициировались колебаниями уровня воды на их выходе в Большую Печору.

Основное перераспределение стока в дельте Печоры происходит в районе с. Андег, где от Малой Печоры влево отходят рукава Утчер шар (переходящий в Тундровый шар) и Средний Шар, а основная часть ее стока через «пролив Месино» соединяется со стоком Большой Печоры. Распределение стока и динамика реверсивных течений в этом узле в ходе приливного цикла носит исключительно сложный характер и является ключевым фактором обводнения западной части дельты Печоры.

Полученные в ходе экспедиции данные использованы при построении (с использованием отечественного программного комплекса STREAM_2D), калибровке и верификации двумерной гидродинамической модели устьевой области Печоры от с. Великовисочное до морского края дельты. Модель позволяет воспроизвести типичные и экстремальные гидрологические ситуации, связанные с наводнениями, переносом загрязнителей, ухудшением навигационных условий и прочими опасными гидрологическими процессами и явлениями.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ, проект 18-05-60021 «Сток рек и изменение водного и ледотермического режима устьевых областей и морских побережий Российской Арктики в XXI веке».

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОД БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2018–2020 ГГ.

Александров С.В., Семенова А.С.

АтлантНИРО, г. Калининград, Россия
a.s.semenowa@mail.ru

Ключевые слова: трофическое состояние, хлорофилл «а», зоопланктон, «цветение» вод, Балтийское море.

Балтийского море характеризуется низким биоразнообразием и значительной уязвимостью из-за слабого водообмена. Эвтрофирование вод и их «цветение» при развитии потенциально-токсичных синезеленых водорослей – важнейшие проблемы Балтийского моря. Российские воды (калининградский сектор), расположенные в Гданьском бассейне, относятся к районам с наибольшим поступлением загрязняющих веществ и «цветением» вод в Балтийском море. Одновременное исследование хлорофилла (показателя обилия водорослей) и доли мертвых особей в зоопланктоне позволяет оценить уровень эвтрофирования, «цветения» и качества вод и их влияние на зоопланктон, как важнейший компонент пищевой цепи и индикатор неблагоприятных изменений.

Исследования в юго-восточной части Балтийского моря (терводы и ИЭЗ России) выполнялись 24–30 июля 2018 г. и 7–15 июля 2020 г. на НИС «Академик Борис Петров» и «Академик Иоффе» на 31 и 24 станциях. Хлорофилл «а» отбирался по горизонтам и определялся спектрофотометрическим методом по ГОСТ 17.1.04.02-90. Зоопланктон отбирали тотальным ловом до дна сетью Джеди, доля мертвых особей определялась прижизненным окрашиванием нейтральным красным красителем.

Эвтрофирование вод и «цветение» в летний период потенциально-токсичных синезеленых водорослей влияют на пространственное распределение планктона. В российских водах (калининградский сектор) распределение хлорофилла «а» обычно характеризуется повышенными величинами в прибрежном районе, особенно вдоль побережья Самбийского полуострова и Куршской косы, и снижением в открытом море. В 2018 и 2020 гг. в прибрежном районе (до глубины 20 м) были наибольшие концентрации хлорофилла «а», в среднем 4,3 и 5,3 мг/м^3, которые снижались с удалением от берега в среднем до 3,7 и 3,3 мг/м^3 на глубинах 20-40 м и до 2,7 и 3,2 мг/м^3 в глубоководной зоне (> 40 м). По классификации трофического статуса вод Балтийского моря в прибрежном районе было эвтрофное состояние (хлорофилл «а» > 4,0 мг/м^3). По классификации качества вод Балтийского моря, хлорофилл «а» > 4 мг/м^3 отражает «удовлетворительный» уровень (III класс) и соответствует акваториям, на которые влияет поступление загрязняющих веществ и «цветение» вод. Мористее

(глубже 20 м) трофность снижалась до мезотрофного состояния, и наблюдался «хороший» уровень (II класс) качества вод.

Зоопланктон был представлен 31–35 видами, среди которых по численности и биомассе доминировали веслоногие ракообразные, при высокой доле коловраток и ветвистоусых ракообразных в прибрежном районе. Пространственное распределение зоопланктона повторяло распределение обилия фитопланктона (хлорофилла «а»). В июле 2018 г. и 2020 г. максимальные значения численности (151 и 127 тыс. экз./м^3) и биомассы (1,35 и 1,18 г/м^3) зоопланктона были в прибрежном районе (до глубины 20 м), с удалением от берега и увеличением глубины они снижались в 2–3 раза в 2018 г. и 1,5 раза в 2020 г.

Эвтрофирование вод и увеличение обилия фитопланктона, как кормовой базы, оказывало не только положительное влияние на обилие зоопланктона в прибрежной зоне. Одновременно в прибрежном районе возрастала доля мертвых особей в зоопланктоне (7,7 % и 6,7 % численности в 2018 и 2020 г.), которая снижалась с удалением от берега до 4,3 % и 2,8 % на глубинах более 40 м, т.е. в условиях открытого моря. Эвтрофирование и «цветение» вод Балтийского моря оказывают негативное воздействие на зоопланктон, ведя к увеличению доли мертвых организмов. Увеличение антропогенного воздействия и изменения климата, способствующие «цветению» токсичных водорослей, будут увеличивать негативные процессы в зоопланктоне и в целом в морской экосистеме.

ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ МОРЯ СОДРУЖЕСТВА В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ АНТАРКТИЧЕСКИЙ ПЕРИОД

Артамонова К.В.[1], Гангнус И.А.[2]

[1] ВНИРО, г. Москва, Россия
[2]МГУ, г. Москва, Россия
ksusha.vniro@gmail.com

Ключевые слова: море Содружества, залив Прюдс, поверхностные воды, температура воды, растворенный кислород, биогенные элементы, сезонная и межгодовая изменчивость.

Море Содружества – одно из приматериковых морей Антарктиды, расположенное в индоокеанском секторе Южного океана, на берегу которого находится российская антарктическая станция Прогресс.

На основе многолетних исследований, полученных в период с 2008 по 2020 гг. в составе российской антарктической экспедиции на НЭС «Ак. Федоров» и НЭС «Ак. Трешников», проанализирована сезонная (весна-осень) и межгодовая изменчивость гидролого-гидрохимических характеристик в поверхностных водах моря Содружества. Показано, что в весенне-летний антарктический период на шельфе моря Содружества (в заливе Прюдс) формировались уникальные для Южного океана условия, когда в поверхностном слое наблюдалось практически полное потребление биогенных элементов (до нулевых значений), при этом резко возрастали концентрации органических форм азота и фосфора, а перенасыщение вод кислородом достигало 120–140 %. Получено, что наибольшая скорость убыли биогенных элементов отмечалась вблизи кромки припая с середины декабря до начала января и составляла: для кремния – 3,2 мкг-ат/л в сут, для нитратного азота – 1,8 мкг-ат/л в сут, а для минерального фосфора – 0,12 мкг-ат/л в сут. В условиях устойчивого пикноклина происходила вспышка цветения фитопланктона, которая наблюдалась визуально – вода становится зеленого цвета с пониженной прозрачностью. Такие ситуации достаточно редки для вод Юного океана, локальны и кратковременны. В январе-феврале отмечался рост биогенных элементов, и к марту-апрелю содержание их в поверхностном слое в целом соответствовало значениям, наблюдаемым в середине декабря. Установлено, что наиболее быстро восстанавливались концентрации фосфатов, а содержание нитратов к апрелю лишь на 70 % достигло декабрьских величин, при этом стехиометрическое соотношение между отдельными элементами в целом соблюдалось и составляло в среднем $Si/P\text{-}PO_4=22,1$ и $N\text{-}NO_3/P\text{-}PO_4=14,5$.

Показано, что с 2008 по 2020 гг. такие летние «оазисы» в прибрежной акватории моря Содружества наблюдались с разной степенью выраженности и зависели от гидрометеорологических условий (продолжительности безветренных дней и наличием разрушенного припая) в каждый конкретный год. Выделены

условно теплые годы (2009 и 2014 гг.), когда в поверхностных водах залива Прюдс отмечалась ранняя вегетация (в конце декабря) и интенсивное потребление фитопланктоном биогенных элементов, а также «холодные» годы (2011, 2016 и 2017 гг.), когда в декабре-январе наблюдались достаточно низкая температура воды (от 0° до -0,8 °С), высокие (почти зимние) концентрации биогенных элементов и наличие большого массива ледового припая. «Фенологическая волна» еще не пришла, а формирование опережающих ее летних «оазисов» в таких условиях представлялось невозможно.

МНОГОКОМПОНЕНТНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ФИЗИКО-БИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДЫ В ОКРЕСТНОСТИ ВЫПУСКА ГОРОДСКИХ ЛИВНЕВЫХ СТОКОВ В СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЕ

Багаев А.В.[1], Никишин В.В.[1,2], Рауэн Т.В.[3], Вержевская Л.В.[1], Рябцев Ю.Н.[1], Цыганова М.В.[1], Щербаченко С.В.[1]

[1]*МГИ, г. Севастополь*
[2]*СевГУ, г. Севастополь*
[3]*ИнБЮМ, г. Севастополь*
a.bagaev1984@gmail.com

Ключевые слова: Севастополь, ливневая канализация, беспилотный надводный аппарат, взвешенное вещество, бактериопланктон.

Активная урбанизация побережья, рост населения и отсутствие централизованной системы сбора и очистки сточных вод требуют новых подходов к управлению и оперативному наблюдению за качеством морской воды. Из-за относительно небольшого времени жизни сточных плюмов ливневой канализации в программах мониторинга состояния Севастопольской бухты отбор проб не всегда приходится на время выпадения осадков.

В нашем исследовании решались две задачи: во-первых, требовалось оценить время жизни и дальность распространения

микро-плюмов дождевого стока; во-вторых, показать, что беспилотные средства измерений – это удобный, доступный и надежный инструмент для проведения оперативных измерений непосредственно во время дождя.

Район исследований был ограничен Севастопольской бухтой (г. Севастополь, юго-западная часть п-ова Крым, Россия). Для исследования были выбраны три известных выпуска ливневой канализации: в Артиллерийской бухте, в районе пляжа в Аполлоновой балке и на Северной стороне в районе п. Голландия. С февраля по июнь 2021 г. проводился отбор проб воды на четырех станциях, расположенных по нормали к берегу. Временной промежуток отбора проб включал период без выпадения осадков (фоновые значения), во время или сразу после дождя и на следующие сутки после дождя. Для анализа проб применялся проточный цитометр CytomicsTM FC 500. Параллельно отбору проб с помощью беспилотного надводного аппарата оригинальной конструкции проводилось измерение температуры и солености морской воды на поверхности с помощью датчика ТМА-21 при движении галсами вдоль и поперек полигона. Проведена также оценка степени влияния ливневых стоков с помощью сопряженных уравнений переноса и диффузии взвеси.

Численное моделирование показало, что динамика течений и турбулентная диффузия в поверхностном слое определяют быстрое ослабление концентрации взвеси вблизи точки выпуска в течение первых нескольких суток. Анализ проб воды показал, что концентрация взвешенных частиц в ливневых водах (около 2×10^7 част./мл) как правило на 2 порядка выше фоновых значений принимающей морской воды (около $0{,}1 \times 10^6$ част/мл). Поступление ливневых вод в акваторию бухты вело к значительному увеличению численности бактериопланктона (до $0{,}8 \times 10^6$ кл/мл). Фоновые значения содержания взвеси и микроорганизмов в водах бухты восстанавливались спустя сутки после сильного ливня. Измерения температуры и солености показали наличие слабого положительного градиента в температуре и солености в направлении от берега, что хорошо соответствует предположению о быстром перемешивании.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта №20-45-920019.

ТИПЫ КОНФЛИКТОВ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ

Баринова Г.М., Рябкова О.И., Краснов Е.В., Романчук А.Ю., Ушакова Л.О.

БФУ, г. Калининград, Россия
ecogeography@rambler.ru

Ключевые слова: природно-ресурсный потенциал, региональные факторы, конфликты интересов, типы конфликтов, принципы экологизации.

Для устойчивого развития приморских регионов России большое значение имеет учет региональных факторов, включая разнообразие природных условий и ресурсов, социально-экономических и геоэкологических особенностей. В стратегиях и программах развития многих приморских регионов в качестве наиболее приоритетных направлений все чаще наряду с мореховяйственным освоением выступают рекреация и туризм. Этот сектор экономики базируется на природно-ресурсном потенциале морских побережий. Научное обоснование и разработка принципиальных предложений, направленных на сохранение природного потенциала и здоровья населения, авторы связывают с минимизацией множества рисковых ситуаций, вызванных природными и техногенными конфликтами природопользователей в контактной зоне «суша-море».

Однако еще не существует единого концептуального и нормативно-правового определения береговой (прибрежной) зоны, а, следовательно, и планирования хозяйственной деятельности в ее пределах. Усложняет решение проблем планирования и управления развитием прибрежных (береговых) зон нерешенность вопросов определения их границ. В этих условиях необходим дифференцированный подход к разным участкам морских побережий, которые отличаются природными условиями, ресурсным потенциалом и степенью хозяйственного освоения.

В условиях интенсивного судоходства, нефтегазодобычи и рыболовства в прибрежных зонах, отсутствия соответствующей нормативной и правовой базы организации и управления различными видами природопользования все чаще проявляются острые экономико-экологические конфликты между природопользова-

телями, которые ведут не только к дестабилизации функционирования прибрежных геоэкосистем, но и к весьма значительным социально-экономическим последствиям.

В основе экономико-экологических конфликтов - отсутствие общегосударственной стратегии развития прибрежной зоны, системности регулирования интересов природопользователей. Плохо согласованы между собой, к примеру, интенсификация развития сельского хозяйства, усиление урбанизации и размещения в береговой зоне промышленных и военных объектов, в том числе экологически вредных.

В целях устранения конфликтов между природопользователями авторами разрабатывается типология конфликтных ситуаций прибрежно-морского природопользования на основе концептуально-методологического подхода по нескольким основаниям – с учетом причин возникновения, степени остроты, опасности для здоровья населения, масштабности и продолжительности проявления.

Природные конфликты авторы увязывают с: а) аномальными атмосферными процессами (сильные ветры, шквалы, тромбы, интенсивные ливни, туманы, обледенение, жара и др.); б) динамическими эксцессами (землетрясения, склоновые процессы, т.ч. оползни, осыпи, эрозия, овраги и др.); в) гидрологическими событиями (нагонные наводнения, прибрежные льды, волновая абразия берегов); г) инфекционными заболеваниями человека и животных (клещевые инфекции, лептоспироз и др.).

Антропогенные конфликты в контактной зоне суша–море обусловлены хозяйственной деятельностью - добычей нефти, гравийно-песчаных материалов и других полезных ископаемых; строительством гидротехнических и берегозащитных сооружений (порты, нефтяные терминалы, буны и др.); судоходством, рыболовством; урбанизацией, лесопользованием, сельским хозяйством; туристско-рекреационной деятельностью и др.

По негативным последствиям и опасности для здоровья населения выделяются конфликты, вызванные загрязнением атмосферного воздуха, прибрежных акваторий (сброс сточных вод, дампинг, несанкционированные свалки ТБО и др.), сокращением берегозащитных лесов, зеленых зон, биоразнообразия, хаотичной застройкой прибрежных территорий и т.д.

По степени остроты конфликты подразделены на четыре категории. Очень острый конфликт с устойчивой антропогенной

трансформацией геосистем, характеризуется замещением природных геосистем природно-техногенными системами, формированием значительных зон нарушенных земель.

Острый конфликт вызывается значительными противоречиями природопользователей в достижении поставленных целей, интенсивным использованием особо ценных компонентов геосистем. Антропогенная трансформация природных комплексов носит устойчивый характер, их восстановление возможно при прекращении антропогенной деятельности и снижении нагрузки в течение длительного времени.

Умеренно-острый конфликт определяется противоречиями в целях развития предпринимателей, экстенсивным освоением ими природных ресурсов. Антропогенная трансформация природных комплексов без нарушений литогенной основы. Возможно полное восстановление при уменьшении антропогенной нагрузки.

В категории слабых конфликтов – ситуации без выраженных противоречий, с относительно сбалансированным развитием. Антропогенные нарушения легко обратимы при снижении антропогенного воздействия, загрязнение водной и воздушной среды не превышает предельно допустимых значений.

Реальные и потенциальные конфликты сопровождаются трансформацией прибрежных геосистем. Для реальных конфликтов характерна устойчивая трансформация геосистем, вплоть до их полной деградации, значительны площади нарушенных земель, требующих рекультивации; обостряются проблемы экологической безопасности. Потенциальные конфликты требуют выявления предполагаемых противоречий хозяйственного освоения особо ценных в природоохраняемом и рекреационном отношении природных систем и их компонентов.

К примеру, на Калининградском морском побережье в последней четверти XX века доминировали реальные конфликты. С интенсивным развитием туристско-рекреационной деятельности, расширением застройки городов, интенсификацией добычи янтаря, строительства новых автомагистралей основной причиной реальных конфликтов здесь стала хозяйственная деятельность.

Выявлен ряд трендов развития конфликтных ситуаций на морских побережьях:

– снижение привлекательности геоэкосистем;

– нарушение их природно-ресурсного потенциала и природно-климатических условий санитарно-курортного лечения, отдыха и туризма населения;

– отток рекреантов из-за ухудшения эстетических условий в результате загрязнения побережья нефтепродуктами, пластиком и другими контаминантами.

Районирование и зонирование конфликтных ситуаций позволит в дальнейшем откорректировать существующие методы планирования и управления прибрежной зоной на основе системы принципов:

1. принцип предупреждения, учитывающего интересы не только настоящего, но и будущих поколений, согласования экономических, экологических и социальных интересов, условий и факторов при планировании и осуществлении хозяйственной деятельности;
2. принцип учета факторов времени, неопределенностей и пространственных ограничений прибрежных зон;
3. принцип экологической безопасности и здоровьесбережения населения.

Дальнейшее исследование авторы связывают с совершенствованием методик оценки риска и конфликтогенности геоситуаций, детализацией представлений об изменении природных условий и техногенных факторов в прибрежной зоне.

НОВЫЙ СОРБЕНТ НА ОСНОВЕ ВОЛОКНА, ИМПРЕГНИРОВАННОГО ГИДРОКСИДОМ ЖЕЛЕЗА(+3)

Бежин Н.А., Козловская О.Н., Шибецкая Ю.Г., Довгий И.И.

МГИ, г. Севастополь, Россия
dovhyi.illarion@yandex.ru

Ключевые слова: акрилатное волокно, $Fe(OH)_3$, сорбент, сорбция, морская радиохимия, радионуклиды.

Впервые предложен и разработан метод получения полиакрилонитрильного волокна (ПАН), импрегнированного $Fe(OH)_3$, содержащего химически закрепленный $Fe(OH)_3$ с использованием феррата натрия как окислителя ПАН. Данная методика является более простой и экономичной в сравнении с известной из литературы – осаждение $Fe(OH)_3$ аммиаком на волокно.

Проведено испытание полученного сорбента в лабораторных и экспедиционных исследованиях. В лабораторных условиях изучена сорбция стабильных изотопов фосфора и бериллия из морской воды в статических и динамических условиях. Установлены коэффициенты распределения, динамические и полные динамические обменные емкости сорбента по фосфору и бериллию, изучены изотермы и кинетика сорбции этих элементов. Показаны более высокие сорбционные характеристики полученного сорбента по сравнению с волокном, полученным классическим способом.

В экспедиционных условиях проверено изучение сорбции радионуклидов ^{7}Be, ^{32}P, ^{33}P, ^{210}Pb, ^{234}Th на природном содержании из крупных проб морской воды. Показаны высокие степени извлечения данных радионуклидов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-33-60007 (конкурс «Перспектива»), государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № 0555-2021-0004).

ЭТАПЫ ЭВОЛЮЦИИ КЛИМАТА И РАСТИТЕЛЬНОСТИ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ В ПОСЛЕДНИЕ 16 ТЫСЯЧ ЛЕТ И ИХ КОРРЕЛЯЦИЯ С КОЛЕБАНИЯМИ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Болиховская Н.С.

МГУ, г. Москва
nbolikh@geogr.msu.ru

Ключевые слова: Палеокаспий, позднеледниковье, голоцен, трансгрессивные и регрессивные стадии, климатические изменения, палинология.

Эволюция ландшафтов Северного Прикаспия в последние 16 тысяч лет была обусловлена изменениями климата и колебаниями уровня Каспийского моря. Этот интервал в истории природной среды рассматриваемого района охватывает время максимальной стадии раннехвалынской трансгрессии – одной из самых значительных трансгрессий в истории плейстоценового Каспия и

примерно 11 500-летний период голоценовой новокаспийской трансгрессии, для которой реконструированы многократные малоамплитудные трансгрессивные и регрессивные флуктуации. В Северном Прикаспии в высшую фазу своего развития раннехвалынский бассейн достигал абс. отметок +48–50 м (современный уровень моря -27,16 м). В максимальную стадию трансгрессии формировалась толща шоколадных глин. Более 30 радиоуглеродных (^{14}C) дат в диапазоне 16270±680 – 12860±550 календарных лет назад (далее – кал. л.н.), полученных по раковинам моллюсков из песчаных прослоев в шоколадных глинах разрезов Копановка, Нижнее Займище, Райгород, Средняя Ахтуба, Цаган Аман, Черный Яр и др., а также результаты ОСЛ и ^{230}Th/^{234}U датирования шоколадных глин позволили сопоставить максимальную стадию раннехвалынской трансгрессии с этапом деградации осташковской стадии валдайского оледенения Русской равнины (Леонов и др., 2002; Arslanov et al., 2016).

Реконструкции ландшафтно-климатических изменений, происходивших в Нижнем Поволжье в последние 16 тысяч лет, выполнены автором по данным палинологического анализа и абсолютного датирования разреза Средняя Ахтуба (48°42′ с. ш., 44°55′ в. д.), расположенного южнее одноименного поселка на левом берегу р. Ахтуба, и разреза Соленое Займище (47°54′ с. ш., 46°10′ в. д.), находящегося в долине Волго-Ахтубы в 130 км юго-восточнее пос. Средняя Ахтуба (Болиховская, 2011; Болиховская, Макшаев, 2019).

Выполнено детальное палинологическое изучение пачки отложений, вскрытых под современной каштановой почвой в интервале глубин 1,2–4,0 м в верхней части разреза Средняя Ахтуба и включающих толщу шоколадных глин, а также вышележащий и подстилающий ее слои. Для шоколадных глин разреза получены ОСЛ даты 15 000±1000 и 13 000±500 л. н. (Янина и др., 2017), подтвердившие результаты их ^{14}C датирования.

Список изученной раннехвалынской палинофлоры включает около 100 таксонов разного ранга. Впервые для отложений максимальной стадии раннехвалынской трансгрессии получены данные о значительном содержании в большинстве спорово-пыльцевых спектров таксонов холодостойких растений (*Betula fruticosa, B. nana, Alnaster fruticosus, Juniperus communis, Dryas octapetala, Botrychium boreale* и др.), а также сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica*), являющихся характерными видами равнинных и горных тундровых, лесотундровых и северо-таежных фитоцено-

зов. О формировании шоколадных глин в условиях перигляциальных ландшафтов свидетельствует участие в спектрах пыльцы и спор представителей тундровой, бореально-лесной и пустынно-степной флор (*Betula nana*, *B. fruticosa*, *Alnaster fruticosus*, *Dryas octapetala*, *Botrychium boreale*, *Abies* sp., *Picea abies*, *Pinus sibirica*, *Larix sibirica*, *Pinus sylvestris*, *Betula pendula*, *B. pubescens*, *Ephedra* sp., *Artemisia* s.g. *Seriphidium*, *Atriplex cana*, *A. litoralis*, *A. verrucifera*, *Halostachys capsica*, *Kochia prostrata* и др.) (Болиховская, Макшаев, 2019; Bolikhovskaya, Makshaev, 2020).

Детальная летопись ландшафтно-климатических изменений, происходивших в Нижнем Поволжье на протяжении последних 11500 лет, полученная нами на основании результатов спорово-пыльцевого анализа и ^{14}C датирования озерно-старичных отложений разреза Соленое Займище, а также голоценовых осадков разрезов в дельте Волги, отражает многократные смены зональных типов растительности и трансформации зональных и интразональных сообществ (Болиховская, 2011; Richards K., Bolikhovskaya et al., 2014). На протяжении последних примерно 11.5 тысяч лет на этой территории сменились не менее 26 фаз в эволюции растительности и климата. Согласно более 20-ти ^{14}C и AMS датам (от 9560±60 до 900±60 л. н.) и интерполяционным расчетам, определены их хронологические границы.

В настоящее время в Нижнем Поволжье в условиях аридного климата зонально развиты пустыня и полупустыня. Результаты детального палинологического анализа и абсолютного датирования изученных разрезов (Болиховская, 2014; Болиховская, Макшаев, 2019; и др.) свидетельствуют, что на протяжении последних 16 тысяч лет в эволюции зональных ландшафтов здесь участвовали разнообразные перигляциальные и межледниковые фитоценозы.

Для времени раннехвалынской трансгрессии Каспия реконструированы сукцессии растительных сообществ позднеледниковья – межстадиалов (бёллинга и аллерёда) и стадиала средний дриас – тундро-степи, перигляциальные лесостепи, перигляциальные степи, перигляциальные редколесья и перигляциальные леса. Широкое участие микротермных ерниковых формаций из *Betula nana* и кустарниковых сообществ из *Betula fruticosa*, *B. nana*, *Alnaster fruticosus*, *Juniperus* и др. свидетельствует о суровых климатических условиях и, возможно, существовании островной многолетней мерзлоты в холодные (стадиальные) этапы осташковского позднеледниковья (Болиховская, Макшаев, 2019).

В интервале ~ 11500–2600 кал. л. н. в климате более благоприятном и гумидном, чем современный климат Нижнего Поволжья, преобладали лесостепные и степные ландшафты, которые в ходе своего развития прошли не поочередно 7 лесостепных и 7 степных фаз. В эволюции степных ландшафтов, господствовавших в период ~ 2600–840 кал. л.н., зафиксировано 8 фаз, выражавшихся трансформациями зональных и интразональных фитоценозов. Доминирование, зональное распространение и трансформации пустынно-степных и пустынных ландшафтов имели место только в последние ~ 840–900 лет.

Основная специфика протекания климатических процессов на исследуемой территории в голоцене заключается в трех ярко выраженных климатических оптимумах, которым соответствовали максимумы теплообеспеченности и увлажнения. Главным из них был позднеатлантический оптимум (~ 6970–5740 кал. л.н.), коррелируемый с гоусанской трансгрессивной стадией Каспия. Это был этап развития лесостепных ландшафтов, в которых смешанные дубовые леса с участием граба обыкновенного и кавказского (*Carpinus betulus, C. caucasica*), бука восточного (*Fagus orientalis*), вяза (*Ulmus laevis, U. foliacea*), липы (*Tilia cordata*), березы и других деревьев, а также хвойные боры составляли лесной пояс долины нижней Волги. Близкие друг другу оптимумы ~ 9500–9350 кал. л. н. и ~ 4770–4040 кал. л. н. характеризовались меньшей теплообеспеченностью, но большей увлажненностью. Им также было свойственно господство лесостепей и, в некоторые фазы, – степей. Однако они отличались от главного оптимума, менее благоприятными условиями для произрастания широколиственных деревьев и меньшим их участием в составе лесов. Эти три этапа соответствуют максимальным трансгрессивным состояниям Новокаспийского бассейна. О трансгрессивных режимах Каспия свидетельствуют также фазы прохладного и относительно влажного климата. В первую очередь, – лесостепная фаза в интервале ~ 11500–10250 кал. л. н., отвечающая сартасской стадии позднехвалынской трансгрессии Каспия, когда на не занятой морем части Северного Прикаспия были широко распространены сосновые редколесья и лесные участки с господством ели и пихты. Фазы относительных похолоданий и увлажнения климата зафиксированы также в интервалах ~ 5540–4770, 2600–2340 и 500–250 кал. л. н. Кроме того, трансгрессивным режимам моря отвечали фазы потепления и увлажнения климата в интервалах ~ 8900–8400, 3770–2780, 2080–1720, 1600–1400, 1270–1030 и 670–500 кал. л. н. Реконструированные минимумы тепла и

влажности, т.е. периоды холодного и сухого климата, а также интервалы значительного потепления и аридизации (относительно теплого и сухого климата) соответствуют регрессиям разного ранга. Два самых значительных минимума теплообеспеченности и увлажнения приходятся на раннебореальный субпериод и на первую половину позднесубатлантического субпериода. Первый минимум отвечает времени мангышлакской регрессии Каспия ~ 10250–9500 кал. л.н., а второй минимум соответствует дербентской регрессии ~ 1400–670 кал. л.н. Внутри интервала 9500–1400 кал. л.н. выделяются одна фаза резкого потепления и аридизации климата ~ 2780–2600 кал. л. н. и пять фаз резкого похолодания и иссушения климата в интервалах ~ 9350–8900, 8400–8240, 5740–5540, 4040–3770 и 2340–2080 кал. л. н., которые могут отвечать кратковременным, но глубоким снижениям уровня Каспия. Наиболее значительные из них относятся к интервалам ~ 8400–8240 и 4040–3770 кал. л. н. Все фазы похолодания и аридизации климата отличало господство на рассматриваемой территории сухих степей и полупустынь, в которых ведущую роль играли ксерофитные марево-полынные сообщества.

Палинологические исследования выполнены по программе ГЗ № 121051100135-0 «Палеоклиматы, развитие природной среды и долгосрочное прогнозирование ее изменений».

БЕРЕГА МОРЕЙ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Большиянов Д.Ю., Макаров А.С., Ашик И.М.

ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
bolshiyanov@aari.ru

Ключевые слова: российская Арктика, берега, колебания уровня моря.

Северное побережье Евразии, которое практически целиком принадлежит России, очень разнообразно по строению берегов. Здесь встречаются практически все известные типы берегов мира, а местные региональные черты придают арктическим берегам некоторые особенности, которые на других побережьях не встречаются. Таким важнейшим фактором формирования облика

берегов является многолетняя мерзлота. Также очень важным является ледовый режим морей, благодаря которому морские волны и вдольбереговые течения воздействуют на берега лишь в небольшой промежуток времени, когда береговая линия освобождается от припая. Горные породы, которыми сложены берега, также определяют их облик и береговые процессы. Однако основным фактором динамики берегов являются колебания уровня моря. Они могут быть кратковременными (синоптического масштаба), такие как приливо-отливные и сгонно-нагонные, но существуют и вековые колебания уровня моря, зависящие от тектонического строения и динамики земной коры, благодаря которым происходит подъём и опускание суши, причём в разное время и на разных участках. Но есть ещё и эвстатические колебания уровня Мирового океана, обусловленные изменениями объёма воды.

Современные данные говорят о том, что и в настоящее время уровень океана или эквипотенциальная поверхность геоида имеет рельеф с перепадами по высоте в разных участках океана до 180 м [Бадюков, 1982]. Многие исследователи пытались и пытаются отделить эвстатические факторы от тектонических и получить чёткое представление о том, что происходит с уровнем океанов и морей в настоящее время [Peltier, Fairbanks, 2006], однако к настоящему времени эта задача не решена. Не решена не только потому, что мало фактов, но и ещё в силу представлений о том, что уровень воды в океане всецело зависит от таяния или наращивания ледников. Благодаря такому архаизму в науке, усилия учёных для понимания причин колебаний уровня воды в океанах и внутренних водоёмах направлены только на поверхностную составляющую водного баланса Земли. Однако количество воды в океане, морях, крупных пресноводных озёрах, реках зависит от периодического поступления воды из земной коры. И этот источник необходимо учитывать, для того чтобы знать, что произойдёт с побережьями Мира в ближайшем будущем [Большиянов, 2018]. Поэтому нет противоречий в том, что во многих морях и даже в их частях происходят разнонаправленные колебания уровня моря в зависимости от соотношения тектонических и эвстатических факторов. Данных для того, чтобы их разделить пока недостаточно, и парадигма колебаний уровня моря ошибочна (режим таяния или наращивания ледников = режиму уровня Мирового океана).

В докладе приведены уникальные данные обобщения сведений о колебаниях уровня в морях российской Арктики, полученные на

протяжении 60 лет наблюдений на 60 полярных станциях. Таких данных не было ни у одной арктической страны и не будет в ближайшем будущем из-за резкого сокращения по количеству и качеству уровенных наблюдений в Арктике после развала наблюдательной сети СССР. Анализ современных колебаний уровня морей в многолетнем масштабе осуществлен как по данным о геологическом строении территорий, так и по «современным» гидрологическим наблюдениям на полярных станциях, на основе которых составлена карта современных колебаний уровня морей российской Арктики. Например, в регионе, поверхность которого должна продолжать опускаться в соответствии с геотектонической обстановкой – Обской губе, а уровень моря расти, происходит обратный процесс – здесь наблюдаются наибольшие понижения уровня моря по сравнению со всей российской Арктикой. Геоморфологические наблюдения показывают, что на многих побережьях уровень ведёт себя гораздо сложнее, нежели указано на карте. Так, Мурманское побережье Кольского полуострова или остров Малый Ляховский в море Лаптевых активно поднимаются. В докладе также охарактеризованы и прошлые изменения уровня моря, ведущие к изменению конфигурации берегов.

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ И ВОЗМОЖНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ИХ ЭКОСИСТЕМ С УЧЕТОМ ПРЕДПОЛАГАЕМОЙ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОРТОВ

Бортин Н.Н., Дьяченко К.Н., Зверев А.В., Спесивцева Е.Е.

РосНИИВХ, г. Владивосток, Россия
nbortin@mail.ru

Ключевые слова: заливы и бухты, акватория, порты, морфометрические характеристики, мелководная зона, водные биоресурсы.

Прибрежные морские акватории залива Петра Великого используются в различных областях хозяйственной деятельности:

рекреации, рыболовстве, рыбоводстве, создании охраняемых морских территорий и размещении портов. Исследования показывают, что устройство портов в бухтах приводит к разрушению их естественных экосистем. Поэтому для эффективного использования и распределения морского пространства залива с целью достижения баланса между промышленным, социально-экономическим развитием и сохранением окружающей среды необходимо провести определение границ мелководных зон в бухтах.

Ихтиопланктонные исследования в заливе Петра Великого показали, что наибольшее видовое разнообразие характерно для биотопа мелководной зоны с глубиной до 20 м. Поэтому за границу мелководной зоны в акватории залива Петра Великого принимается изобата 20 м. Из 87 бухт залива акватории 63 бухт полностью относятся к мелководной зоне с максимальной глубиной менее 20 м; в 19 бухтах площадь мелководной зоны составляет от 70 % до 95 % от площади их акватории; в 5 бухтах площадь мелководной зоны менее 50 % от площади их акватории.

Залив Петра Великого относится к высшей категории рыбохозяйственного значения. Он находится на стыке умеренной и субтропической зон, что обуславливает биологическое разнообразие и богатство биоресурсов. В бухтах залива обитают около 300 видов рыб, свыше 2000 видов беспозвоночных, около 20 видов морских млекопитающих. В заливе развито прибрежное рыболовство и марикультурное хозяйство.

В мировой практике необходимые глубины для судов с большой осадкой обеспечиваются дноуглубительными работами, которые оказывают непосредственное воздействие на морские экосистемы, приводящие к уничтожению бентосных форм, гибели и угнетению планктона, вытеснению рыб с места их обитания, потере кормовой базы и мест нагула. Поэтому возникает проблема защиты морских экосистем, для решения которой особую актуальность приобретает оценка экологической безопасности принимаемых решений по выбору акватории для размещения портов в морской мелководной зоне бухт.

Для решения данной проблемы Дальневосточным филиалом ФГБУ «РосНИИВХ» предлагается методологический подход для оценки воздействия портовых сооружений на прибрежные мор-

ские акватории, который основан на принципе зонирования акваторий портов и понятии мелководной зоны морских водных объектов с определением ее границ. Оценка проводится по разработанным критериям в виде пяти степеней воздействия дноуглубительных работ в акватории порта (***$S_{БУ}$*** – минимальная, ***$S_{ПБ}$*** – малая, ***$S_{ОП}$*** – средняя, ***$S_{РО}$*** – большая, ***$S_{ВР}$*** – максимальная), позволяющих определить соответствующие характеристики условий (благоприятные, хорошие, удовлетворительные, допустимые и недопустимые) по размещению портовых сооружений в мелководной зоне прибрежной морской акватории.

Анализ морфометрических характеристик бухт залива Петра Великого показал, что только 12 бухт из 87, имеют благоприятные условия для размещения глубоководных портов.

АНАЛИЗ РАСХОДОВ ВОДЫ В РЕКАХ ПРЕГОЛЯ И ДЕЙМА ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ 1990–2020 ГГ.

Боскачёв Р.В.[1,2], Чубаренко Б.В.[3]

[1]БФУ, г. Калининград, Россия
combat.130@mail.ru
[2]Калининградский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиал ФГБУ «Северо-Западное управление УГМС», г. Калининград, Россия
[3]ИО РАН, Россия, г. Москва
chuboris@mail.ru

Ключевые слова: расход воды, устьевая зона, река Преголя, река Дейма.

Анализ расходов воды (1990–2020 гг.), полученных на гидрологических постах Росгидромета в районе точки разветвления реки Преголи на два рукава, показал, что средний приходящий расход (ГП Преголя-Гвардейск) и расход в её уходящем рукаве - реке Деймы (ГП Дейма-Гвардейск) равен 81 м³/с и 35 м³/с. Рассчитанное среднее значение расхода воды уходящего рукава Нижней Преголи – 46 м³/с. В процентном соотношении общий

расход реки Преголи (до разветвления в г. Гвардейске) делится на 54 % в сторону Вислинского залива (Нижняя Преголя) и 46 % в сторону Куршского залива (рукав Дейма). Сделан вывод об изменении пропорции по сравнению с историческими данными. Выделены ситуации и условия, к ним приводящие, при которых вода из рукава Нижней Преголи перетекает в рукав Дейму, что в связи с активной хозяйственной деятельностью в устье Нижней Преголи может повлиять на ситуацию в Куршском заливе.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-35-90108 Аспиранты (Боскачев Р.В.) и темы 0128-2021-0012 гос. задания ИОРАН (Чубаренко Б.В.).

К ВОПРОСУ О РЕКОНСТРУКЦИИ ЗАТОПЛЕННЫХ УЧАСТКОВ ХЕРСОНЕСА И ЕГО ХОРЫ В КАРАНТИННОЙ И КРУГЛОЙ БУХТАХ

Букатов А.А.

Херсонес Таврический, г. Севастополь, Россия
abukatov@chersonesos-sev.ru

Ключевые слова: Херсонес Таврический, подводные археологические исследования, бухта Круглая, бухта Карантинная, гавань.

К анализу результатов подводных археологических исследований необходимо приступать с пониманием процессов, происходящих в прибрежной зоне. Важной проблемой является оценка величины и динамики наступления моря на берега Гераклейского полуострова за последние 2500 лет. Интерпретация результатов подводных археологических исследований в Круглой бухте связана с вопросом реконструкции затопленных участков территории Херсонеса и его хоры. Чтобы приблизиться к решению этих вопросов, необходимо привлекать и сопоставлять весь доступный массив информации, полученной при археологических и гидрофизических исследованиях севастопольских бухт.

Основываясь на результатах подводных исследований, можно предполагать, что северная часть скалистой отмели в центральной части бухты Круглая, по крайней мере, с первых веков н.э., находилась вблизи уреза воды. В пользу этого говорят находки черепицы I–III в. и сильно окатанные немногочисленные фрагменты керамики эллинистического времени, подвергавшиеся разрушительному воздействию на мелководье. Античная усадьба сельскохозяйственного надела, видимо, располагалась южнее, ближе к срытой в современное время песчаной пересыпи. Оценка изменения глубины моря, полученная при исследованиях в Карантинной бухте, на участке у «ромбовидной башни», ограничена значением 2,86 м начиная от момента возведения этого сооружения. Даже не принимая во внимание значительную просадку этой конструкции, указанная цифра существенно меньше современных глубин в районе скалистой отмели в бухте Круглая, составляющих 3–4 м с востока и запада и 4–6 м севернее. Судя по находкам на отмели строительной керамики, в римское время здесь находились постройки. Фрагменты найденных в 2020 г. при шурфовке стеклянных подставок рюмок второй-третьей четверти VI – начала VII вв. н. э., а также фрагменты нескольких типов оконных стекол V–VII вв. н. э., вероятно, могут указывать на наличие здесь постройки общественного характера.

Подводные исследования в Фанагории [Кузнецов В.Д., Ольховский С.В., 2016], выявили, что городской мол раннего времени видимо, уже к началу новой эры был затоплен морем, в результате чего к концу III–IV в. н.э. пришлось возводить новые причальные сооружения. Вполне вероятно, аналогичная картина наступления моря наблюдалась и в районе Гераклейского полуострова. Дальнейшего изучения требует выявленная в Круглой бухте, в южной части отмели, каменная насыпь длиной более 60 м. Подобные объекты известны в местах древних гаваней и портов в Черном и Средиземном морях. Акватория восточнее отмели, судя по находкам в этом районе практически целых амфор и предметов посуды, возможно, в эллинистическое и средневековое время использовалась для стоянки судов. Один из периодов активного использования гавани в бухте Круглая приходился на VIII–IX вв.

ЗАВИСИМОСТЬ КОНЦЕНТРИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ВЗВЕСЯМИ АЗОВСКОГО МОРЯ ОТ ИХ КОНЦЕНТРАЦИИ В ВОДЕ

Буфетова М.В.

МГРИ, г. Москва, Россия
mbufetova@mail.ru

Ключевые слова: тяжелые металлы, взвешенное вещество, концентрирующая способность взвесей, Азовское море.

Азовское море – водный бассейн юга России со значимыми для экономики страны минеральными и биологическими ресурсами, транспортной коммуникацией. В силу своего геологического прошлого, физико-географических и климатических характеристик Азовское море обладает рядом уникальных особенностей – малыми размерами, глубиной и объемом, слабым водообменом с другими морями, высокой значимостью речного стока в формировании океанологического (соленость, газовый, биогенный и гидрохимический режимы, другие параметры) и биологического (состав населения, продуктивность, экологические отношения) облика экосистемы. Азовское море обладает статусом рыбохозяйственного водоема высшей категории и имеет довольно высокий рекреационный потенциал, а значит, несет в себе большой интерес как объект исследования и мониторинга окружающей среды.

К числу приоритетных загрязняющих веществ морских экосистем относятся тяжелые металлы, отличающиеся максимальной аккумуляционной способностью и высокой токсичностью. Настоящая работа посвящена исследованию концентрирования Hg, Pb, Cd, Cu, Zn взвешенным веществом Азовского моря.

В работе были использованы данные по концентрации Hg, Pb, Cd, Cu, Zn в воде собственно Азовского моря в 2015 г., предоставленные ФГУ «Азовморинформцентр» в рамках сотрудничества с кафедрой экологии и природопользования МГРИ, а также данные Михайленко А.В. (ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет») по содержанию указанных тяжелых металлов во взвешенном веществе в этом же году. Рассматривали два периода: весна–лето и осень–зима.

Материалы показали, что концентрация тяжелых металлов во взвешенном веществе и в воде составляли в среднем (взвешенное вещество/вода, мкг/л): Hg (0,043/0,045), Pb (1,1/12,1), Cd (0,35/0,41), Cu (9,6/10,1), Zn (29,2/31,6). Концентрация взвеси в собственно Азовском море в поверхностном слое воды по литературным данным в среднем составляет 19 мг/л.

Результаты расчетов коэффициентов накопления свидетельствуют о высокой концентрирующей способности взвесями тяжелых металлов: максимальные значения – у ртути и меди – $1{,}132\times10^6$ и $1{,}011\times10^6$, соответственно. Минимальные у свинца – $0{,}005\times10^6$. Вследствие этого, рассчитанный пул тяжелых металлов на взвесях от общего их содержания в воде собственно моря в весенне-летний период составил: 95,6 % для ртути, 95 % для меди, 92,4 % для цинка, 85,4 % для кадмия и 9 % для свинца.

Для осенне-зимнего периода пул ртути, меди и цинка на взвесях находился в меньших значениях – для ртути – 29,2 %; для меди – 86,2 %; для цинка – 90 %; а для кадмия и свинца – выше, 17,1 % и 12,4 %, соответственно.

В работах В.Н. Егорова (ФИЦ ИнБЮМ) показано, что при значениях коэффициента накопления более 10^5 практически весь пул, например, ртути в воде, находится на взвесях. Таким образом, полученные нами данные свидетельствуют о высокой значимости фактора концентрирующей способности взвесей в самоочищении вод Азовского моря от тяжелых металлов.

АНАЛИЗ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОД СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Валле А.А.

ИПТС, г. Севастополь, Россия
ogorodovaa.a@mail.ru

Ключевые слова: растворенный кислород, температура вод, соленость, северо-западная часть Черного моря, приустьевой район Дуная.

Северо-западная часть Черного моря (СЗЧМ) – это мелководный шельфовый район, гидролого-гидрохимический режим которого сформировался под влиянием стока четырех рек: Дуная, Днепра, Днестра и Южного Буга. Самая крупная река – Дунай. Более 57 % речного стока в море заносит река Дунай. С речными водами Дуная в СЗЧМ поступают промышленные и бытовые отходы восьми государств Европы. В связи с этим приустьевой район Дуная испытывает очень интенсивную антропогенную нагрузку. Поэтому данный район является одним из самых сложных для исследования.

Большинство работ по изучению сезонной изменчивости гидролого-гидрохимического режима северо-западного шельфа были эпизодическими и проведены до 2010 г. Поэтому целью данной работы является уточнение сезонной изменчивости температуры, солености и кислорода, растворенного в водах северо-западной части Черного моря и в приустьевом районе Дуная, за период с 1955 по 2015 гг.

В работе приведен анализ сезонной изменчивости температуры, солености, растворенного кислорода в СЗЧМ и в приустьевой зоне Дуная отдельно. С использованием сформированной архивной базы данных построен сезонный ход гидролого-гидрохимических характеристик. Вычисления производились для горизонтов 0, 10, 20 и 30 м. Сезонный ход рассчитан по осредненным данным из среднемесячных полей. Для определения преобладающего вклада в дисперсию сезонного хода использовался метод гармонического анализа.

Уточнены статистически значимые особенности формирования температурного режима, солености и растворенного кислорода с учетом сезонных вариаций. Подтверждено абсолютное преобладание годовой гармоники в сезонной изменчивости большинства анализируемых гидролого-гидрохимических характеристик на большей части рассмотренной акватории шельфа. Исключение составляет соленость на поверхности в приустьевой области Дуная. Здесь полугодовая гармоника описывает более 60 % общей дисперсии, обусловленной сезонной изменчивостью солености, что связано с особенностями ветрового режима в регионе. Внутригодовые колебания кислорода, температуры и солености в приустьевом районе Дуная имеют большую амплитуду по сравнению с северо-западной частью Черного моря. Значительное влияние на формирование гидролого-гидрохимического режима

оказывает ветровой режим. В весенний период преобладают южные и западные ветра которые распространяют распресненые воды с высоким содержанием биогенных элементов на большие площади СЗЧМ.

Работа выполнена в рамках госзадания (тема № 0012-2019-0002: Фундаментальные исследования процессов в климатической системе, определяющих пространственно-временную изменчивость природной среды глобального и регионального масштабов) при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-45-920014).

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ

Вареник А.В., Орехова Н.А.

МГИ, г. Севастополь, Россия
alla.varenik@mhi-ras.ru

Ключевые слова: соотношение Редфилда, неорганический азот, фосфаты, кремний, углерод.

Для оценки влияния поступления биогенных элементов (неорганического азота, фосфора) с атмосферными осадками на первичное продукцию водоемов часто используется соотношение Редфилда [Herut et al. 1999; Krishnamurthy et al. 2010; De Fommervault et al. 2015; Tugrul et al. 2014]. Усовершенствованное соотношение [Brzezinski, 1985] органического углерода, неорганического азота, фосфора и кремния в морских экосистемах (C:N:P:Si) составляет 106:16:1:15.

В г. Севастополь проводится отбор проб атмосферных осадков и их анализ на содержание биогенных элементов – неорганического азота, неорганического фосфора и кремнекислоты. Наши данные показывают, что соотношение N:P в атмосферных осадках значительно смещено в сторону азота по сравнению с классическим соотношением Редфилда, а соотношение P:Si – в сторону фосфора. Таким образом, атмосферные осадки могут спо-

собствовать сдвигу в цепочке развития фитопланктона от диатомовых водорослей к кокколитофорам и далее к динофлагеллятам, поддерживающим интенсивные «красные приливы» и дефицит кислорода в прибрежной зоне.

Применяя соотношение Редфилда C:N в нашем исследовании, мы получили, что среднее годовое поступление неорганического азота с атмосферными осадками 31,1 ммоль·м$^{-2}$·год$^{-1}$ соответствует величине неорганического углерода 205,9 ммоль·м$^{-2}$·год$^{-1}$. Согласно данным [Demidov, 2008] среднее значение годовой первичной продукции составляет 100–130 гС·м$^{-2}$·год$^{-1}$ в прибрежных районах. Исходя из этого мы определили, что средний годовой поток азота с атмосферными выпадениями может приводить к увеличению первичной продукции на 1,9–2,5 %.

Годовое поступление растворенного неорганического фосфора с атмосферными выпадениями (0,33 ммоль·м$^{-2}$·год$^{-1}$) соответствует дополнительному продуцированию углерода на 35 ммоль·м$^{-2}$·год$^{-1}$. В свою очередь это способствует увеличению первичной продукции прибрежных районов Черного моря на ~0,4 % от ее среднемноголетнего значения.

Дополнительное поступление кремния с атмосферными осадками (0,78 ммоль·м$^{-2}$·год$^{-1}$) способствует образованию дополнительного углерода в количестве 5,51 ммоль·м$^{-2}$·год$^{-1}$, что является весьма незначительным количеством.

Как видно из полученных данных, максимальный эффект на изменение величины первичной продукции при поступлении атмосферных осадков оказывает приток неорганического азота. Для этого возможного прироста первичной продукции (205,9 ммоль·м$^{-2}$·год$^{-1}$) мы оценили количество кислорода, которое потребуется на его окисление. Используя соотношение C:O = 106:138, получили, что дополнительный расход кислорода может составлять 268 ммольO·м$^{-2}$·год$^{-1}$.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что дополнительный поток биогенных элементов с атмосферными выпадениями может изменить соотношение C:N:P:Si в поверхностном слое прибрежных районов Черного моря и приводить к дополнительному расходованию ксилорода на окисление органического вещества.

Работа выполнена в рамках темы госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ № 0555-2021-0005 и проекта РФФИ № 18-05-80028 «Опасные явления».

ЭПИЗОДЫ ЭКТРЕМАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ДИОКСИДОМ СЕРЫ В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ В 2019–2020 ГГ.

Василевский Д.Н.[2], Василевская Л.Н.[1], Лисина И.А.[1]

[1]ДВФУ, г. Владивосток, Россия
[2]ДальНИИВХ, г. Владивосток, Россия
lubavass@mail.ru

Ключевые слова: атмосферное загрязнение, спутниковый мониторинг, диоксид серы, побережье Приморского края.

Диоксид серы (двуокись серы (SO_2)) – токсичное вещество. При повышенных концентрациях в атмосфере оно оказывает вредное воздействие на здоровье человека, приводит к закислению почвы, интоксикации животных и растений, нарушению баланса экосистемы, в том числе прибрежных акваторий. В последние десятилетия концентрация SO_2 увеличивается в результате сжигания угля, нефти и плавки минеральных руд, содержащих серу.

При соединении SO_2 с морскими аэрозолями в атмосфере прибрежных районов образуется мельчайшая взвесь серной кислоты, которая, попадая на морскую поверхность, может вызвать гибель биоты. Время нахождения диоксида серы в атмосфере составляет несколько дней, а иногда часов. Из-за пагубного влияния SO_2 на экосистемы прибрежных акваторий необходима оценка его содержания в атмосфере. При этом пространственный мониторинг загрязняющих веществ в прибрежных районах возможен только с помощью спутниковых наблюдений.

Целью работы является выявление эпизодов экстремальной среднесуточной концентрации двуокиси серы в прибрежной акватории трех морских портов (Владивосток, Посьет и Терней) в течение 2019–2020 гг. Исходными данными явились спутниковые наблюдения за загрязнением атмосферы по материалам глобального моделирования и усвоения данных (GMAO) при центре космических полетов НАСА (https://earth.nullschool.net/ru).

На протяжении исследуемого периода было выявлено 42 эпизода с концентрациями диоксида серы, превышающими ПДК. Большая часть (30 случаев) зафиксирована на крайнем юге, в районе порта Посьет. Эта территория ближе всего находится к границе с Северо-Восточным Китаем, являющимся основным центром эмиссии загрязняющих веществ, поступающих на территорию Приморья в результате трансграничного переноса. Во Владивостоке количество эпизодов составило 10, а в Тернее – всего 2 (он наиболее удален от КНР и защищён горной системой Сихотэ-Алинь от западного переноса).

Экстремальное загрязнение атмосферы наблюдалось только в холодный период года (с ноября по март), когда господствующие муссонные потоки направлены с территории КНР.

Хасанский район (порт Посьет) является основной зоной аквазерриториальной системы (в рамках природного экотона на границе суши и моря) для выращивания морских гидробионтов – марикультуры. Кроме того, в этой зоне расположен Дальневосточный государственный морской биосферный заповедник. В силу природно-климатических и административно-территориальных факторов именно Хасанский район по нашим исследованиям наиболее подвержен максимальному атмосферному трансграничному загрязнению.

Отметим, что в 2019 г. число дней с экстремальной концентрацией двуокиси серы составило 23, в 2020 г. – всего 13. Это связано с резким сокращением промышленного производства в КНР на фоне пандемии COVID 19, что еще раз указывает на трансграничный характер возникновения эпизодов экстремального загрязнения диоксидом серы атмосферы прибрежных районов Приморского края.

Таким образом, для контроля за состоянием морских прибрежных экосистем необходим постоянный спутниковый мониторинг роста нагрузки загрязнения на водную среду со стороны аэрозолей при трансграничном переносе.

ИЗМЕНЕНИЕ КИСЛОРОДНОГО РЕЖИМА ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО МНОГОЛЕТНИМ ДАННЫМ

Видничук А.В., Коновалов С.К.

МГИ, г. Севастополь, Россия
anna_vidnichuk@mhi-ras.ru

Ключевые слова: кислород, насыщение вод кислородом, эвтрофикация, холодный промежуточный слой, Черное море.

Интенсивная хозяйственная деятельность человека в акватории Черного моря за последние 40 лет приводит к изменениям в основных биохимических циклах, увеличению эвтрофированности бассейна. Кислород является одним из важнейших показателей, обуславливающих благоприятные условия существования морской экосистемы. Поэтому вопросы о механизмах и процессах, определяющих его содержание, потоки и динамику в водах Черного моря, остаются актуальными для изучения.

Динамика содержания кислорода в водной толще обусловлена совокупностью процессов его поступления и расходования.

Для оценки изменений в поступлении кислорода была проанализирована многолетняя динамика концентрации и степени насыщения вод кислородом на горизонте минимального значения температуры. Выявлено, что в период интенсивной эвтрофикации глубоководной части Черного моря и в постэвтрофикационный период концентрация кислорода была относительно стабильной, в среднем колебалась в пределах 250±25 мкмоль/л, а степень насыщения вод кислородом составляла 70–80 %. После 2005 г. наблюдается постепенное снижение концентрации кислорода в ядре ХПС, а также степени насыщения до значений 40–60 % в 2015 г. Снижение запаса кислорода в ХПС связано как со слабой интенсивностью обновления вод и увеличением средней температуры в ядре (выше 8 °С), так и с продолжающимся увеличением потребления кислорода. Это закономерно привело к снижению концентрации кислорода и в более глубинных слоях.

В морских экосистемах кислород в основном расходуется на окисление оседающего взвешенного органического вещества

(ВОВ). Одним из конечных продуктов его окисления являются нитратные формы азота, изменение концентрации которых позволяет косвенно оценить уровень расходования кислорода. Проанализировав данные о концентрации нитратов в слое их максимума (σ~15,5) за период 1980–2019 гг., мы получили тенденцию снижения их концентрации с 6–7 мкмоль/л (конец 1980-х гг.) до 3 мкмоль/л (в 2013–2019 гг.), что должно способствовать снижению расхода кислорода в толще вод.

О снижении потока оседающего ВОВ свидетельствуют рассчитанные нами данные о концентрации первичной продукции, полученные с помощью методов дистанционного зондирования.

На фоне тенденции увеличения температуры верхних слоев водной толщи и снижения интенсивности зимнего конвективного перемешивания наблюдается снижение запаса кислорода во всех слоях аэробной зоны Черного моря. Проведенный анализ данных за период с 1980 по 2019 г. показал, что на современном этапе в экосистеме глубоководной части черноморского бассейна произошел «системный» сдвиг, обусловленный совместным действием как климатических изменений, так и антропогенной нагрузкой.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ №19-35-90062 – Аспиранты, а также в рамках государственного задания по темам 0555-2021-0004 и 0555-2021-0005.

ОСЕТРОВЫЕ РЫБЫ: ОБЪЕКТ РЫБОЛОВСТВА И ИСЧЕЗАЮЩИЙ ВИД. ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА УЩЕРБ

Вилкова О.Ю.

ВНИРО, г. Москва, Россия
ovilk@mail.ru

Ключевые слова: осетровые рыбы, охрана, законодательство.

Отряд Acipenseriformes немногочислен в видовом отношении, но с длительной историей развития, насчитывающей 200–250 млн лет. Представители Отряда осетровых обитают в субтропических и умеренных широтах северного полушария. К началу

XX века численность популяций этих рыб сначала на Американском, а во второй половине XX века и на Европейском континентах катастрофически снизилась из-за перелова и, в дальнейшем, ухудшения условий для их воспроизводства в результате антропогенной деятельности.

Во всех странах Мира введён запрет на коммерческую добычу осетровых видов рыб; ряд видов или популяций внесён в Международный Красный список и национальные Красные книги; несколько видов разрешены к ограниченному коммерческому промыслу. Международная торговля осетровыми рыбами, их частями и продуктами их переработки регулируется Конвенцией о Международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения (СИТЕС).

В Российской Федерации для восстановления и поддержания численности популяций осетровых рыб государственными осетровыми рыбоводными заводами ежегодно выпускается в естественную среду обитания до 50 млн экз. молоди осетровых рыб. Но, помимо воспроизводства, необходимо осуществлять охрану этих видов. Осетровые рыбы относятся к особо ценным видам животных, в отношении вылова которых действуют более строгие меры контроля.

Законодательное регулирование вылова и ответственности за ущерб осетровым рыбам рыб включает: Конституцию Российской Федерации; Федеральные законы «О животном мире»; «О рыболовстве…»; Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях; Постановления Правительства «Об осуществлении рыболовства в научно-исследовательских… целях»; «Об утверждении перечня особо ценных диких животных и водных биологических ресурсов…, для целей статей 226.1 и 258.1 Уголовного кодекса Российской Федерации»; «Об утверждении такс для исчисления размера ущерба, причиненного водным биологическим ресурсам»; Приказ Минсельхоза России «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам»; Приказ Росрыболовства «О мерах по добыче (вылову) осетровых видов рыб…»; Правила рыболовства.

Вылов рыб, занесенных в Красную книгу Российской Федерации запрещен, за исключением особых случаев.

Вылов промысловых осетровых рыб разрешен в научно-исследовательских и контрольных целях, а также в целях рыбоводства, воспроизводства и акклиматизации. Из 11 видов осетровых рыб, обитающих в водах России, к водным биоресурсам (ВБР) относятся 8, часть популяций которых также занесена в Красную книгу: белуга, русский осетр, персидский осетр, сибирский осетр, севрюга, амурский осетр, калуга и стерлядь.

При случайном попадании в орудия лова осетровых рыб они должны быть незамедлительно выпущены в естественную среду обитания независимо от их состояния; при научных исследованиях, после необходимых измерений, осетровые рыбы также должны быть выпущены. В случае гибели (вскрытия) животного должна последовать его утилизация в соответствии с существующими нормативными актами. Удержание на борту судна ВБР, не указанных в промысловом билете, считается незаконной добычей.

Такса за ущерб осетровым рыбам достигает 269250 рублей за один экземпляр плюс до 82200 рублей за 1 кг икры. Незаконная добыча, продажа осетровых рыб диких популяций подпадают под действие Уголовного кодекса и караются от штрафа до лишения свободы до 8 лет.

МЕТОДИКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЛНЕНИЯ НА АКВАТОРИЯХ ОСТРОВНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Вялый Е.А., Макаров К.Н.

НИЦ «Морские берега», г. Сочи, Россия
VyalyiEA@Tsniis.com

Ключевые слова: гидравлические модели, дифракция волн, искусственный остров, методика расчета, оградительное сооружение.

Строительство островных портов, яхтных гаваней, рекреационных островных комплексов иногда оказывается более эффективным по сравнению с береговыми их вариантами. Для оценки

волнового режима на акватории острова нормативная методика не может быть применена непосредственно, так как оградительные сооружения островов обычно представляют собой сложные сочетания волноломов различной длины и конфигурации.

Волны в таких сооружениях входят не в ворота порта, а непосредственно воздействуют на оградительные сооружения. Необходимо разработать методику расчета дифракции, рефракции, отражения и затухания волн на оградительных сооружениях сложной конфигурации. При этом рассматриваются сооружения из волноломов, не сходящихся внутрь акватории острова и волноломов, сходящиеся внутрь акватории.

Рассматриваемая проблема является ключевой при проектировании конфигурации и конструкций оградительных сооружений островных портов, яхтных гаваней и рекреационных островов.

С одной стороны, стоимость оградительных сооружений составляет основную статью стоимости островных объектов, а с другой – недостаточная защищенность акватории может приводить к авариям и существенному сокращению сроков эксплуатации сооружений.

Основными заинтересованными сторонами разработки проекта являются Росморпорт, администрации курортных городов, частные инвесторы в строительство островных сооружений.

В настоящее время в России отсутствует нормативная база по проектированию яхтных гаваней и рекреационных искусственных островов. Результаты выполнения работ по данной теме планируется использовать в качестве одного из разделов такого документа в части проектирования оптимальных конфигураций и конструкций оградительных сооружений островных объектов.

Решение проблемы может заключаться в научно обоснованной модификации нормативной методики согласно СП 38.13330.2018 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). - М., Минстрой РФ, 2018.

Преимуществами предлагаемого решения являются, с одной стороны, использование в качестве прототипа многократно апробированной нормативной методики, а с другой – экспериментальные лабораторные исследования волновых колебаний в островных портах на крупномасштабных гидравлических моделях в

волновом бассейне НИЦ «Морские берега» в г. Сочи, который будет привлекаться в качестве соисполнителя проекта.

Экономический эффект от реализации предлагаемого проекта будет заключаться в оптимизации конфигурации и конструктивных решений оградительных сооружений, для которых, с одной стороны, обеспечивается минимальная стоимость, а с другой – надежная работа сооружений с достижением требуемого волнового режима в портах, яхтных гаванях и на акваториях островных рекреационных комплексов.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ И СИНОПТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ДИНАМИКУ ЧИСЛЕННОСТИ ПРИМОРСКОЙ ГОРБУШИ (ЯПОНСКОЕ МОРЕ, ТАТАРСКИЙ ПРОЛИВ)

Гайко Л.А.[1], Шатилина Т.А.[2], Лысенко А.В.[2]

[1]ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
[2]ТИНРО, г. Владивосток, Россия
gayko@yandex.ru

Ключевые слова: приморская горбуша, Татарский пролив, температура морской воды, центры действия атмосферы, динамика численности, Японское море.

В работе выявлены особенности температурного режима прибрежных вод и сопряжённых с ними синоптических процессов, и их влияние на динамику численности приморской горбуши вдоль северо-восточного побережья Японского моря и восточного побережья Татарского пролива, так как они могут приводить к перераспределению миграционных потоков горбуши вдоль побережья Приморского и Хабаровского краёв.

Особенности температуры прибрежных вод анализировались по данным гидрометеорологических станциях (ГМС) Советская Гавань, Сосуново и Рудная Пристань в мае–июле (1980–2019 гг.), взятым из архива Приморского УГКС. Для анализа атмосферной циркуляции над рассматриваемым районом использовались

карты средних месячных значений абсолютной барической топографии поверхности 500 гПа и карты приземного атмосферного давления из архива реанализа. Данные по численности возврата горбуши в реки Приморья в 1980−2018 гг. взяты из документов Северотихоокеанской комиссии по анадромным рыбам.

Основными элементами циркуляции воздушных масс над Дальним Востоком в тёплый сезон являются летняя дальневосточная депрессия и охотский антициклон, определяющие температурный режим в данном регионе. В ходе аномалий температуры воды на ГМС Советская Гавань в мае, июне и июле выявлен положительный, статистически значимый тренд, т.е. температура воды у побережья Татарского пролива за этот период повысилась. На ГМС Сосуново, расположенной южнее, в ходе аномалий температуры воды положительный значимый тренд выявлен только в мае и июле, т.е. в эти месяцы у юго-западного побережья Татарского пролива температуры воды растёт. В июне тренд не выявлен. У северо-западного побережья Японского моря на ГМС Рудная Пристань тренд не выявлен во все рассматриваемые месяцы, т.е. колебания температуры в данном районе происходили около нормы.

При сравнении температуры воды с динамикой численности приморской горбуши между ними была выявлена прямая зависимость. Так, например, выживаемость молоди горбуши в 2009 г. была максимальная, в мае этого года температура поверхностного слоя воды на ГМС Советская Гавань была выше средней на 1,5 °С. В 2012 г. наблюдалась низкая выживаемость молоди, на ГМС Сосуново в этот год отмечался пониженный фон поверхностной температуры воды, аномалии температуры составили -2,1 °С.

Термический режим морских вод, формирующийся под влиянием холодной и тёплой стадий дальневосточного муссона, также оказывает значительное влияние и на миграцию горбуши. Наиболее благоприятными условиями для подхода горбуши к Приморскому побережью является распространение гавайского антициклона на Японское море, вызывающее термические экстремумы на его поверхности. При резком снижении температуры воды под влиянием охотского антициклона (холодная стадия муссона) подходы горбуши к нерестовым рекам задерживаются.

Таким образом, была подтверждена прямая зависимость изменения динамики численности приморской горбуши от температуры воды и положения центров действия атмосферы.

КОМПЛЕКСНЫЙ КРИТЕРИАЛЬНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЛОКАЛЬНЫХ БЕРЕГОВЫХ СИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ)

Гогоберидзе Г.Г.[1], Румянцева Е.А.[1], Косьян Р.Д.[2]

[1]МАГУ, г. Мурманск, Россия
[2]ИО РАН, г. Геленджик, Россия
gogoberidze.gg@gmail.com

Ключевые слова: береговая эко-социо-экономическая система, устойчивость, критериально-статистический подход, Черное море, Краснодарский край.

Морские береговые зоны характеризуются крайне интенсивным взаимодействием природных процессов. Вместе с тем, в совокупности с масштабами хозяйственной деятельности, береговая зона подвержена усилению антропогенного воздействия. В совокупности это приводит к необходимости рассматривать морскую береговую зону как единую эко-социо-экономическую систему, в которой учитывается изменчивость и устойчивость происходящих процессов на различных пространственных уровнях. Таким образом, необходима оценка устойчивости системы не только регионов в целом, но и локальных береговых эко-социо-экономических систем, под которыми понимается приморское муниципальное образование поселения (местного уровня управления) в совокупности с внутренними морскими водами.

В исследовании предлагается критериально-статистический подход к оценке устойчивости локальных береговых эко-социо-экономических систем в виде комплексной индикаторной системы. При этом для локального пространственного уровня характерно отсутствие явно выраженных геополитических и геоэкономических факторов и иных факторов, подверженных долгосрочному воздействию. В качестве составляющих возможно рассмотрение трех факторов устойчивости:

- природно-экологический фактор устойчивости;
- экономический фактор устойчивости;
- социальный фактор устойчивости.

Каждый из представленных факторов представляет набор индикаторов, получаемых исходя из статистического или экспертно-критериального подходов, расчет которых основан на ряде принципов, рассмотренных в ходе исследования.

Полученная система критериально-статистической оценки устойчивости локальных береговых эко-социо-экономических систем апробировалась для 18 локальных муниципальных образований Краснодарского края, выходящих к Черному морю. Было показано, что наиболее устойчивым из локальных береговых систем является г. Новороссийск, что связано с достаточно высокими значениями индексов по всем факторам устойчивости, а наименьшую устойчивость имеют локальные береговые системы Темрюкского (Темрюкское городское поселение и Новотаманское сельское поселение) и Туапсинского (Шепсинское сельское поселение) районов, с основным негативным природно-экологическим индексом. В целом, локальные береговые системы черноморского побережья Краснодарского края имеют положительные значения комплексного индекса устойчивости. Основными положительными параметрами являются высокий туристический потенциал, уровень развития транспортной инфраструктуры, устойчивая социально-демографическая ситуация и высокая степень природно-экологической устойчивости.

Данный подход может быть использован для оценки устойчивости локальных береговых эко-социо-экономических систем в иных приморских регионах Российской Федерации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-45-230001.

ОЦЕНКА РИСКОВ АРКТИЧЕСКОГО БЕРЕГОВОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ МАТРИЧНЫМ ПОДХОДОМ

Гогоберидзе Г.Г.[1], Румянцева Е.А.[1], Шилин М.Б.[2]

[1]МАГУ, г. Мурманск, Россия
[2]СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
gogoberidze.gg@gmail.com

Ключевые слова: риски природопользования, оценка рисков, матричный подход, береговая эко-социо-экономическая система, Арктика.

В настоящее время в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ), и особенно в ее береговой зоне, наблюдается значительное увеличение природных и техногенных рисков природопользования. Авторами ранее была предложена матричная система, оценивающая взаимосвязи между составляющими риска (матрицы риск-источник – риск-фактор и риск-фактор – риск-объект). Задача данного исследования заключается в разработке инструментария оценки интегрального показателя риска для арктической береговой эко-социо-экономической системы как территориального объекта АЗРФ.

В работе рассмотрены основные принципы, заложенные в матричном подходе оценки рисков природопользования в арктической береговой эко-социо-экономической системе, и последовательность ее реализации для территориального объекта АЗРФ, состоящей из трех действий.

1. Уменьшение размерности матриц рисков, применительно к рассматриваемой береговой системе АЗРФ.
2. Расчет оценок риск-факторов, получаемых по скорректированным матрицам риск-источник – риск-фактор и риск-фактор – риск-объект, с учетом весовых показателей, отражающих классификационные видовые характеристики риск-источников, риск-факторов и риск-объектов.
3. Расчет оценки интегрального показателя риска, как суммы оценок всех риск-факторов, с учетом весовых показателей, отражающих классификационные видовые характеристики риск-объектов, расположенных в рассматриваемой береговой системе АЗРФ.

Предлагаемый подход позволяет получать пространственное распределение оценок рисков, выявлять наиболее существенные риск-факторы и возможные комбинации отдельных показателей. Пользуясь предложенным матричным подходом по оценке рисков природопользования, будет разработана методология анализа, прогноза и разработки решений по реализации мероприятий управления рисками природопользования в береговой эко-социо-экономической системе АЗРФ, с возможностью проведения прогнозной оценки риска от размещения какого-либо объекта.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00312.

ВРЕМЕННОЙ ХОД ВЕЛИЧИНЫ PH ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ, ЗА ПЕРИОД С 1956 ПО 2020 ГГ.

Гребнева Е.А.

ИПТС, г. Севастополь, Россия
Lenagrebneva12@gmail.com

Ключевые слова: величина pH, временной ряд, декомпозиция, экстраполяция, глубоководная часть, Черное море.

Моря и океаны играют ключевую роль в глобальном углеродном цикле, в основном поглощая CO_2. Опубликованные оценки показывают, что около 30 % углекислого газа, выбрасываемого в атмосферу в результате хозяйственной деятельности, поглощается Мировым океаном, что и приводит к уменьшению величины pH его верхнего слоя. Повышение кислотности (или понижение pH) поверхностных вод океана, является глобальной проблемой. По данным исследователей в поверхностных водах Северной Атлантики за период с 1993 по 2017 гг. величина pH снижается со скоростью –0,0017 ед. pH в год, а концентрация CO_2 (fCO_2) увеличивается (+1,70 μatm/год). Увеличение кислотности в океанических водах оказывает негативное влияние на живые организмы и ставит под угрозу само существование морских экосистем. Именно поэтому исследованию тенденций изменений величины pH в водах Мирового океана в настоящее время уделяется большое внимание.

В работе использовались данные банка ИПТС за период с 1956 по 2010 гг., а также данные, полученные в ходе экспедиций в 2019 и 2020 гг. Анализировались наблюдения для открытой части моря с глубинами более 1000 м. По ежемесячным данным были рассчитаны осредненные по 4-месячным интервалам значения pH. Полученный временной ряд за период с 1956 по 1996 гг. аппроксимирован суперпозицией линейного тренда, межгодовой квазициклической компоненты с мультипликативным сезонным ходом и остаточной случайной составляющей. Экстраполяция за

период с 1996 по 2020 гг. рассчитана на основе простой регрессионной модели линейного тренда, также скорректированного на вышеуказанные компоненты

Результаты показали, что временной ряд по величине pH поверхностного слоя делится на два отрезка с принципиально различным качеством данных и разным знаком долгопериодных тенденций pH. Первый период продолжался с 1956 по 1976 гг., второй – начиная с 1977 г. и по настоящее время. Анализ данных и ретроспективного прогноза показал, что величина pH снижается за период с 1977 г. по 2020 г. со средней скоростью около 0,017 ед. pH/10 лет. Такая тенденция временного хода pH в поверхностном слое глубоководной части Черного моря близка к тенденциям, наблюдаемым в других регионах, приуроченным к открытым частям Мирового океана.

В межгодовом ходе величины pH выделяются две значимые квазициклические компоненты изменчивости с периодами около 6,7 и 2,5 лет. Наиболее вероятно, что основная причина такой квазипериодической изменчивости величины pH в верхнем слое открытой части Черного моря связана с вариациями атмосферных осадков, обусловленной изменениями циклонической активности в Атлантико-Европейском секторе, включая Черноморский регион, в различные фазы климатических мод в системе океан-атмосфера (в частности, САК).

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № 0012-019-0002) при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-45-920014).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОРВ КАК ЭЛЕМЕНТОВ БЕРЕГОВЫХ СИСТЕМ БЕСПРИЛИВНЫХ МОРЕЙ

Давыдов А.В.

Рабочая группа «Морские берега»
svobodny_polet2012@rambler.ru

Ключевые слова: прорва, промоина, проран, проход, перебоина, протока, пролив, береговая система.

В пределах береговых аккумулятивных форм периодически возникают и с разной продолжительностью функционируют специфические проливы промывного генезиса. Данные образования представляют собой важные составные элементы береговых систем, выполняющие функцию природных коридоров, по средствам которых происходит обмен водными массами, прибрежно-морскими наносами и различными живыми организмами, между сопредельными водоемами.

Промывные проливы также имеют важное значение для жизни населения приморских территорий, которые используют их как сезонные навигационные пути. Однако, большая изменчивость их метрических параметров, отсутствие фиксации в пространстве и во времени, исключает их систематическое использование.

Проливы промывного генезиса, образуются в разнообразных природных условиях, что способствует описанию их под различными названиями: *прорва, промоина, проран, протока, перебоина,* e*ntrance, inlet, tidal inlet*.

Следует отметить, что одновременно с терминологическим разнообразием, в специализированной литературе имеет место и понятийное. В англоязычных справочных источниках («A Glossary of Coastal Engineering Terms», «Beaches and coasts», «Coastal systems», «The coast Hazardous Interactions within the Coastal Environment», «Encyclopedia of Coastal Science»), изучаемые проливы описываются, исключительно как природные образования, соединяющие собой открытые океанические акватории, с заливами, лагунами и эстуариями, которые возникают и развиваются под воздействием штормовых волн и течений, в условиях приливно-отливных колебаний.

В фундаментальном специализированном справочнике «Jūros krantotyros terminų žodynas» Витаутаса Гуделиса, для описания изучаемых проливов, используются как общие, так и частные определения: а) узкий водный переход через косу или другую прибрежную преграду; б) вход или проход, позволяющий войти в водоем, лежащий за прибрежной преградой; в) относительно узкий и часто меняющий свое положение природный канал, расположенный в пределах берегового барьера, через который осуществляется приток и отток морской воды в лагуну или залив, во время приливных или ветровых колебаний.

В терминологическом справочнике «Морская геоморфология: береговая зона, процессы, понятия, определения» для обозначения промывных образований используются различные названия с обобщенным определением: «*Проран, промоина, проход* - пролив из моря в лагуну через береговой бар или в бухту через пересыпь. В некоторых случаях образуется в результате частичного размыва пересыпи или свободной аккумулятивной формы. Миграция проранов, их появление то в одном, то в другом месте, с последующим их «залечиванием», могут способствовать сдвиганию в сторону суши участка бара или пересыпи и к надвиганию их отложений на дно лагуны».

На основании анализа, существующих в специализированных публикациях определений, а также материалов многолетних полевых исследований, мы решили в качестве дискуссии предложить промывным проливам следующее определение:

«*Прорвы* – это морфологические элементы аккумулятивных форм, имеющие вид проливов, временного характера, соединяющих открытые пространства океанов и морей, с более или менее обособленными лагунами или заливами; генетически они бусловленные сложным взаимодействием штормового волнения, прибрежных течений, синоптических и речных колебаний уровня; они выполняют функцию природных коридоров, по средствам которых происходит обмен водными массами, прибрежно-морскими наносами и живыми организмами между сопредельными водоемами».

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВОДНЫМ КУЛЬТУРНЫМ НАСЛЕДИЕМ И ВКЛЮЧЕНИЕ ПКН В МОРСКОЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ

Данилова Л.В.

ЕрмакСЗ, г. Санкт-Петербург, Россия
l.danilova@ermaknw.ru

Ключевые слова: подводное культурное наследие, морское культурное наследие, морское пространственное планирование; комплексное управление морепользованием.

В России морское культурное наследие (МКН) – довольно новый термин; МКН объединяет такие концепции и виды деятельности, как морская история, морская культура и традиции, изучение и сохранение объектов, связанных с историей морской деятельности, популяризация морской истории и традиций, изготовление моделей кораблей, строительство и эксплуатация исторических копий кораблей и т.д. МКН включает в себя материальные и нематериальные следы исторического использования моря человеком на воде, под водой и на суше.

В структуре МКН выделяется группа объектов наследия, находящаяся на дне моря, это подводное культурное наследие (ПКН). Конвенция ООН по охране ПКН (2001г.) установила всеобъемлющую законодательную основу для сохранения, защиты и управления ПКН. Конвенция определяет ПКН как все следы человеческого существования культурного, исторического или археологического характера, которые в течение не менее 100 лет были частично или полностью погружены, периодически или навсегда, в океаны, озера и реки. Российская Федерация еще не присоединилась к Конвенции по охране ПКН.

В российском законодательстве управление культурным наследием регулируется законом 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации», который устанавливает отношения в области сохранения, использования, популяризации и государственной охраны объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации. Закон не содержит терминов «подводное культурное наследие», «морское культурное наследие», «подводный культурный ландшафт». Специфика управления ПКН в законе не учитывается.

Согласно Директиве ЕС о морском пространственном планировании 2014/89/ EU, ПКН является одним из возможных видов деятельности, использования и заинтересованности в планировании морского пространства. Морское пространственное планирование (МПП) предоставляет инструмент для посредничества между несовпадающими интересами отраслей и смягчения конфликтов морепользования, включая охрану ПКН. Российское законодательство по МПП находится на стадии формирования; пространственные планы российских морских акваторий не разработаны; ограничения хозяйственной деятельности для приоритетных зон ПКН не установлены; охрана выявленных объектов

ПКН в должной степени не обеспечена; уполномоченные органы, ответственные за обеспечение охраны ПКН не определены.

В рамках реализации проекта BalticRIM (программа Интеррег. Регион Балтийского моря) сделан первый шаг к определению МКН как особой морской единицы управления, картированы объекты ПКН и МКН в российской части Балтийского моря, выделены приоритетные области ПКН в восточном Финском заливе и юго-восточной Балтике, предложена научно обоснованная методика включения МКН в МПП и меры по ограничению хозяйственной деятельности и совершенствованию системы управления МКН с применением экосистемного подхода на основе учета природных и антропогенных факторов давления. МКН является не только объектом охраны, но и перспективным видом хозяйственной деятельности как объект морского туризма. Проект BalticRIM предложил систему мер по вовлечению МКН и ПКН в международный туристический оборот.

О НЕОБХОДИМОСТИ УЧЁТА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОРСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Долгушев Т.В.

НИУ МГСУ, г. Москва, Россия
dolgushew@yandex.ru

Ключевые слова: изменения климата, сценарный подход, повышение уровня среднего уровня моря, волновые воздействия, портовые гидротехнические сооружения.

Активное освоение Арктического региона РФ связано с необходимостью строительства новых и реконструкции существующих портов. В настоящее время проектирование морских гидротехнических сооружений является актуальной задачей отечественной гидротехники. При этом изменения климата окажет существенное воздействие на эксплуатацию проектируемых ГТС. Яркими примерами проявления глобальных изменений климата являются значительное сокращение площади морского льда, а также повышение среднего уровня моря.

В настоящее время произведено большое количество исследований в области моделирования изменений климата, однако полученные результаты не учитываются при проектировании портовых ГТС. Учет влияния изменения климата на портовые ГТС становится особенно важным, в связи с планируемым активным освоением минерально-сырьевых ресурсов Арктического региона, в котором по оценкам климатологов темпы изменения климата превышают средне-планетарный уровень примерно в 2,5 раза.

Прогнозирование климата, осуществляемое с помощью различных моделей, базируется на сценарном подходе. В настоящее время используется несколько видов сценарных подходов представленных в 3–5 и готовящемся шестом оценочных докладах МГЭИК. Важной задачей является оценка динамики изменения сценариев от четвёртого оценочного доклада (A1, A2, B1, B2) к репрезентативным траекториям концентраций и общим социально-экономическим путям. Понимание тренда в развитии сценариев моделирования климата позволит сделать вывод о применимости полученных результатов в практике проектирования морских ГТС.

В данном докладе будут рассмотрены основные сценарные подходы к моделированию климата и сделана оценка наблюдаемой тенденции их развития. Даны оценки некоторых параметров необходимых для безопасной и эффективной эксплуатации морских портовых ГТС, а также сделаны выводы на основе прогнозных значений этих параметров, полученных по различным сценариям изменения климата.

СОВРЕМЕННЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗАЛИВА ДОНУЗЛАВ

Дьяков Н.Н., Липченко А.Е., Мальченко Ю.А., Жиляев С.А.

ГОИН, г. Москва, Россия
lipch2015@yandex.ru

Ключевые слова: залив Донузлав, термохалинная структура вод, гидрохимический режим, загрязнение вод.

Залив Донузлав, традиционно сохраняющий в литературе название «озера», уникален по своему генезису, размерам, геоморфологии, наличию природных ископаемых, составу флоры и фауны. Экосистема озера Донузлав с начала 60-х годов прошлого века претерпела значительные изменения в связи с прорытием канала в центральной части пересыпи, разделяющей озеро и Черное море.

Актуальность рассмотрения современного гидролого-гидрохимического режима залива обусловлена активным развитием рекреационного комплекса и аквакультуры на его акватории. Неконтролируемое развитие мидийных и устричных хозяйств, вместе с продолжающейся добычей песка и загрязнением морской среды сбросами сточных вод оказывает негативное воздействие на экосистему залива.

В связи с вышесказанным сотрудниками СО ФГБУ «ГОИН» после длительного перерыва были возобновлены сезонные гидролого-гидрохимические съемки зал. Донузлав. Всего за период 2015–2021 гг. было проведено 15 съемок залива, выполнено 134 гидрологических и гидрохимических станций. В 2018–2021 гг. экспедиционные исследования охватывали все гидрологические районы лиманной части залива. Съемки проводились на научно-исследовательском судне «Пеленг» и моторных плавсредствах типа «Zodiak». Для исследований вертикального распределения термохалинных характеристик (температуры, солености и плотности вод) в акватории зал. Донузлав, с июня 2018 г. применялись CTD зонды Valeport Midas ECM и CTD-48, позволившие получить информацию о вертикальной структуре вод на гидрологических станциях, от поверхности до дна через каждые 20–30 см.

В результате выполненных исследований были получены новые сведения по термохалинной структуре вод и гидрохимическим условиям залива Донузлав в современный период, а также выявлены основные источники загрязнения.

Выявлена значительная пространственно-временная неоднородность в распределении гидролого-гидрохимических полей и загрязнения вод залива. В результате выделены 3 характерных района в зал. Донузлав, существенно отличающиеся по условиям

формирования термохалинной структуры вод и гидрохимическим показателям. Отмечена тенденция увеличения солености вод залива в 2018–2020 гг.

Установлено, что наиболее высокий уровень загрязнения наблюдался в кутовой части зал. Донузлав. Наиболее критическим показателем являлось биологическое потребление кислорода (БПК5), максимальное зафиксированное значение которого, в сентябре 2018 г. у Аблямитского моста составило 7,6 ПДК. Превышение ПДК по содержанию нефтепродуктов в водах (до 5 ПДК) отмечалось в единичных пробах, отобранных в районе пгт Новоозерное. В зимний период 2021 г. в 85 % проб было отмечено превышение ПДК (в 1–5 раз) по содержанию анионных поверхностно-активных веществ (АПАВ).

Выполненные исследования донных отложений показали наличие высокого их загрязнения нефтепродуктами, концентрация которых в отдельных пробах превышала принятые нормативы ПДК. В некоторых пробах донных отложений отмечалось превышение ПДК по содержанию тяжелых металлов (Cu, Pb, Zn и Hg), величина которого для отдельных элементов изменялась в пределах от 2 до 10 ПДК.

ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД СЕВАСТОПОЛЯ В 2020-2021 ГГ.

Дьяков Н.Н., Мальченко Ю.А., Липченко А.Е., Боброва С.А.

ГОИН, г Москва, Россия
dyakoff@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, Севастопольский регион, очистные сооружения, гидрохимический режим, загрязнение.

Наблюдающееся в последние годы увеличение загрязнения прибрежных вод Черного моря связано со сбросами сточных вод. В Севастопольском регионе в настоящее время осуществляется сброс сточных вод с канализационных очистных сооружений

(КОС), находящихся на балансе ГУПС «Водоканал» (5 выпусков). Общий объем сточных вод, сброшенных в 2020 г. ~ 22316 тыс.м^3. Вследствие высокой степени износа очистных сооружений (ОС), отсутствия полного цикла биологической очистки стоков (включая крупнейшие КОС-1 «Южные»), увеличение нагрузки, обусловленное ростом численности населения города, большинство сточных вод сбрасываются недостаточно очищенными или вообще без очистки. Распространению загрязнения на большие площади способствуют особенности термохалинной структуры вод в районах расположения выпусков. Кроме глубоководного сброса КОС-1 «Южные» оголовки остальных выпусков сточных вод расположены на глубинах 15–20 м, где формирование пикноклина большую часть года не происходит. Особенно неблагоприятная обстановка складывается в районе выпусков канализационных насосных станций (КНС) № 9, 10 «Балаклавские» и КОС-12 «Качинские». На последних КОС выпуск осуществляется непосредственно у уреза воды, загрязняя большие площади прибрежной акватории моря.

В 2020–2021 гг. сотрудниками СО ФГБУ «ГОИН» было проведено 5 комплексных съемок в районе взморья Севастополя от мыса Лукулл до мыса Сарыч (февраль – август), а также съемки бухт Севастопольского региона – Казачьей, Карантинной, Стрелецкой, Песочной, Омега и Севастопольской. Всего было выполнено свыше 4500 определений гидролого-гидрохимических показателей в отобранных пробах морской воды.

Проведенные исследования показали, что приоритетными загрязняющими веществами (ЗВ) для Севастопольского региона являются, прежде всего, биогенные элементы, вызывающие ухудшение качества вод по целому ряду гидрохимических показателей. При этом загрязнение типичными ксенобиотиками (нефтепродуктами, АПАВ) и тяжелыми металлами оставались на достаточно низком уровне, и в подавляющем большинстве проб не превышало предельно допустимых концентраций (ПДК). В 2020 г. наиболее высокий уровень загрязнения наблюдался в южной части Гераклейского полуострова, и был связан с выпусками КНС Балаклавы и КОС-1 «Южные». Область загрязненных вод, связанная с этими источниками, прослеживалась вдоль всего побережья Севастопольского региона от бухты Камышовой до

бухты Ласпи. В целом, наибольшее число случаев превышения ПДК отмечалось для показателей $БПК_5$ (более 50 % проанализированных проб с поверхностного горизонта). Превышение ПДК по нефтепродуктам наблюдалось в районе выпуска КОС-1 «Южные», а также на внешнем рейде г. Севастополя.

Как показал анализ результатов гидрохимических съемок бухт Севастополя, расположенных в северной части Гераклейского полуострова, выполненный в 2021 г., воды большинства бухт характеризовались высоким уровнем загрязнения. Превышение ПДК по $БПК_5$ отмечалось в районах б. Омега, Песочная и Карантинная. В бухтах Стрелецкая и Омега в отдельных пробах было зафиксировано превышение ПДК по нефтепродуктам (до 1,2 ПДК) и АПАВ (до 2 ПДК).

Работа выполнена в СО ФГБУ «ГОИН» при финансовой поддержке РФФИ (научный проект 20-45-920016 «Исследование изменения гидролого-гидрохимических характеристик и качества морской среды под воздействием диффузных источников загрязнения в Севастопольском регионе и выработка практических рекомендаций по снижению экологических рисков»).

МНОГОЛЕТНЯЯ ИМЕНЧИВОСТЬ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЗОВСКОГО МОРЯ

Евстигнеев В.П.[1], Ерёмина Е.С.[2], Остроумова Л.П.[3]

[1]СевГУ, г. Севастополь, Россия
[2]МГИ, г. Севастополь, Россия
[3]ГОИН, г. Москва, Россия
shchurova88@gmail.com

Ключевые слова: Азовское море, площадь водного зеркала, объем вод, уровень моря.

Повышение уровня Мирового океана приводит к увеличению уровня внутренних морей, к изменениям их морфометрических

характеристик и, как следствие, к изменениям структуры их водного баланса. Водный баланс – важнейший режимообразующий фактор, определяющий гидрогический и гидрохимический режимы моря. Для Азовского моря важными составляющими водного баланса являются речной сток и испарение с поверхности моря. В последние десятилетия в Азовском море интенсифицировался процесс испарения вследствие наблюдаемых глобальных тенденций к увеличению средних значений температуры воздуха. Естественные климатические изменения увлажнения, развитие гидротехнического строительства привели к аномально низкому стоку рек Дона и Кубани. Сформировалось мнение о том, что такая изменчивость составляющих водного баланса в комплексе приводит к дефициту водных ресурсов Азовского моря и критическому состоянию воспроизводства промысловых видов рыб в Азово-Донском бассейне (Матишов и др., 2017).

Интегральным показателем динамики водных ресурсов могут служить морфометрические характеристики, такие как: площадь водного зеркала, глубина и объем вод Азовского моря. Кроме того, эти величины критически важны для водно-балансовых расчетов.

Площадь водного зеркала и объем вод Азовского моря определяются положением уровенной поверхности, колебания которой, характеризуются высокой изменчивостью на разных масштабах: от мезомасштабных и синоптических колебаний, которые могут вызывать значительные изменения в пространственном положении линии уреза и соответственно отражаться на площади моря, до внутригодовых и многолетних.

В работе была поставлена цель – изучить многолетнюю изменчивость морфометрических характеристик Азовского моря за период доступных данных 1966–2013 гг.

На первом этапе расчета были актуализированы морфометрические кривые зависимости площади и объема Азовского моря от уровня моря по современному массиву данных о батиметрии дна *EMODnet*, свободно предоставляемому Европейской сетью морских наблюдений и данных. Этот массив имеет разрешение 1/8' (около 200 м) и построен на основе цифровой модели рельефа, которая генерируется из батиметрических съемок, спутниковой

информации и данных *GEBCO*. Диапазон изменчивости величины среднего за год объема воды заключен в пределах 317–329 км^3. Среднемноголетняя (1966–2013 гг.) величина объема вод в Азовском море составила 323 км^3. В спектре межгодовой изменчивости выделяются колебания с периодом ~ 4 года. Несмотря на сформированное в научной литературе мнение о дефиците водных ресурсов Азовского моря, нами была выявлена положительная тенденция к увеличению объема его вод, порядка +1,4 км^3 в год, что, в первую очередь, обусловлено эвстатическим изменением уровня Мирового океана.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0005 и гранта РФФИ № 19-05-00803.

БИОЛОГИЯ КАМЕННОЙ КРЕВЕТКИ, *PALAEMON ELEGANS* RATHKE, 1837 (DECAPODA, CARIDEA, PALAEMONIDAE) В ВОДАХ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2020 Г.

Егорова Ю.Е., Судник С.А.

КГТУ, г. Калининград, Россия
yulya_egorovaa@mail.ru

Ключевые слова: креветка, Palaemon elegans, юго-восточная Балтика, самцы, самки, размеры тела, масса тела, репродукция.

Эпибентосная креветка *Palaemon elegans* – инвазивный вид, встречающий в водах юго-восточной Балтики с 2000 года. В настоящее время креветка освоила Калининградский (Вислинский) залив и прибрежные воды Балтики. Этот активный детритофаг важен в питании рыб, добывается промыслом и при любительском лове для употребления в пищу и как наживка для лова рыбы. Известны некоторые данные о биологии вида в Калининградском заливе, из таковых в водах юго-восточной Балтики есть только ряд наших сведений за 2010, 2014 и 2015 гг. Цель работы: изучения размерно-полового состава и репродуктивной биологии

Palaemon elegans из поселений в водах Балтийского моря у берегов Калининградской области. Материал включал 170 особей креветок с трех поселений из вод юго-восточной Балтики. В состав лабораторного биологического анализа (Sudnik, Falkenhaug, 2014) входила оценка 5 качественных, и 21 количественного параметра.

Соотношение полов в летних пробах 2020 г. варьировалось не существенно: от небольшого (в 1,2 раза) преобладания самок до доминирования в 1,5 раза самцов. Это сравнимо с данными из Калининградского залива (Мирошниченко, 2019).

В целом, общая длина тела у 170 креветок составила 12,0–50,0 мм, длина карапакса (ДК) – 4,0–11,6 мм. Размеры тела креветок из двух морских поселений были близки (ОД 9,8–48 мм, ДК 4,6–11,4 мм; 12–50 мм, ДК 4–11,6 мм), в пробе из третьего крупные креветки не встречены (12–22,8 мм, при ДК 5,2–8,2 мм). Креветки из залива достигали несколько меньших размеров (ОД 10,8–35,6 мм, ДК 3,4–9,4 мм) (Мирошниченко, 2019).

Масса тела креветок морских поселений, в целом, составила 0,14–1,37 г., это больше массы полученной для, соответственно, более мелких особей из залива (0,09–1,18 г, при ОД 10,8–35,6) (Мирошниченко, 2019). Анализ размерно-весовой зависимости показал, что весовой рост креветок *P. elegans* во всех поселениях несколько опережал линейный.

Оценка репродуктивного состояния самок каменной креветки из прибрежья юго-восточной Балтики в 2020 г. показала следующее. Половозрелости (возможности при неразвитых яичниках спариваться впервые) самки достигали при ДК до 5 мм, после чего при размерах ДК 5–12 мм впервые созревали и нерестились. Июль был временем активного нереста (до 46 % особей уже отнерестились, около 25 % собирались нереститься в августе; отнерестившиеся самки тоже готовились к повторному нересту в августе); отмечено до 30 % самок, пропускающих нерест в июле-августе. К концу августа нерестовая активность самок несколько снизилась: 45 % из них отнерестились, 10 % собирались нереститься в сентябре; отнерестившиеся особи готовились к повторному нересту в сентябре; доля самок, пропускающих нерест в августе-сентябре, была более высокой – около 47 %. В трех морских

поселениях вида нерестовая активность самок проявлялась с разной силой. В целом, за время нерестового весенне-летнего сезона в водах юго-восточной Балтики самки каменной креветки нерестятся не менее двух раз, откладывая за один нерест до 1500 яиц размерами 0,45–0,58 мм × 0,50–0,60 мм (объемом 0,07 м^3). По другим данным самки вида из залива в 2016–2017 гг. достигали половозрелости при ДК 4–7 мм, готовились впервые созреть и нереститься при ДК от 7,1–9,8 мм, что близко к нашим данным; активно нерестились летом, откладывая разово до 1238 несколько более крупных яиц (0,50–0,68 мм × 0,63–0,83) (Мирошниченко, 2019).

Работа выполнена в рамках госбюджетных тем: Рег. № 13.13.035.2 и Рег. № 13.13.200.2 (ООПНДиНТИ КГТУ).

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К МОНИТОРИНГУ МОРСКОГО МУСОРА И МИКРОПЛАСТИКА В ПРИБРЕЖНО-МОРСКОЙ ЗОНЕ

Ершова А.А., Еремина Т.Р., Макеева И.Н.

РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия
ershova@rshu.ru

Ключевые слова: методы экологического мониторинга, морской мусор, микропластик, прибрежная зона, Финский залив.

Проблема загрязнения морской среды пластиковым мусором в Российской Федерации исследуется относительно недавно, и подходы к мониторингу морского мусора и микропластика у разных научных групп различаются, что связано с отсутствием стандартизированных методик мониторинга как в России, так и за рубежом.

В регионе Финского залива Балтийского моря исследования загрязненности прибрежной зоны ведутся РГГМУ с 2018 года согласно принятым в балтийском регионе методикам [1] с использованием сита («фрейм-метод») и граблей («рейк-метод») с диаметром ячеек 2 мм на полигонах в различных частях пляжа от

зоны заплеска до линии растительности. Эти два метода являются простыми и относительно дешевыми и легкими в применении, не требуют высокой квалификации исполнителей работ, и при этом дополняют друга, предоставляя информацию о визуально различимой фракции микромусора во всех зонах пляжа и позволяя идентифицировать пути поступления мусора на берег. Для отбора проб воды в РГГМУ разработаны 2 модели пробоотборника HydroPuMP (HydroPump for MicroPlastics) для использования в различных полевых условиях: пробоотборник-фильтр, встроенный в проточную систему судна для проведения исследований в открытом море, и автономный пробоотборник для использования в прибрежной зоне, позволяющие отбирать частицы микропластика до 100 мкм.

Результаты исследования 2018–2020 гг. показывают, что в данном регионе преобладающим типом антропогенного мусора почти на всех изученных пляжах является бытовой пластик, поступающий с неочищенными и недостаточно очищенными сточными водами и стоком р.Нева. Наиболее загрязненными являются пляжи в районах плотной городской застройки: при этом концентрации микромусора и мезомусора на северном побережье Невской губы как на побережье, так и в водной толще значительно выше, чем на южном берегу, что говорит о ведущей роли местных течений в распределении частиц. Невская губа служит аккумулятором микромусора – во внешней части залива концентрации на порядок меньше. При этом показана согласованность данных по содержанию микропластика на побережье и в водной толще – тенденции изменения концентраций на суше соответствуют таковым в водной среде, что может говорить о согласованности самих методик отбора проб и условий проведения полевых исследований.

Концентрации микромусора на побережьях Невской губы варьируют в среднем от 55 шт/м^2 на самых загрязненных пляжах в центре города Санкт-Петербург до 3–5 шт/м^2 на отдаленных побережьях, но при этом в среднем являются самыми высокими концентрациями микромусора в Балтийском регионе. 2020 год в целом выделяется в сравнении с 2018–2019 гг. – микромусора стало значительно меньше на многих обследованных побере-

жьях, что вероятно связано с периодом карантинных ограничений и остановкой многих производств в 2020 г. Концентрации микропластика в воде в 2020 г. составили 0,33-1,3 ч/литр. Максимальные концентрации микрочастиц в воде найдены в центре города и вблизи от выпусков очистных сооружений, что подтверждает ведущую роль очистных сооружений в загрязнении микропластиком водной среды вблизи больших городов.

1. Haseler M., Schernewski G., Balciunas A., Sabaliauskaite V. Monitoring methods for large micro- and meso-litter and applications at Baltic beaches // Journal of Coastal Conservation. - 2018. - №22.

МОРСКОЙ МУСОР И МИКРОПЛАСТИК В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Ершова А.А.[1], Еремина Т.Р.[1], Макеева И.Н.[1], Панькин Д.В.[2], Крутиков И.А.[3], Басалай Е.Н.[4]

[1]РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия
[2]СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
[3]РГПУ им. А. И. Герцена, г. Санкт-Петербург, Россия
[4] ПАЭИ, г. Брест, Беларусь
ershova@rshu.ru

Ключевые слова: загрязнение моря, морской мусор, микропластик, Российская Арктика, Баренцево море.

В 2019 и 2021 гг. под руководством коллектива РГГМУ были проведены исследования в морях Российской Арктики с целью изучения загрязненности морской среды пластиковыми частицами – микропластиком. Исследования в 2019 г. проводились РГГМУ в рамках программы «ТРАНСАРКТИКА-2019», а в 2021 г. – коллективом авторов в рамках рейса «Арктического плавучего университета – АПУ-2021». Наблюдения велись как в море (отбор проб воды и визуальные наблюдения за поверхностью моря), так и на побережьях архипелагов (в 2021 г.).

Исследования РГГМУ 2019 года показали, что в целом на протяжении Северного морского пути происходит накопление микропластика в дальневосточных морях, а также в Баренцевом море, что подтверждает данные исследований, проведенных ранее в этом регионе. Самые высокие концентрации микропластика обнаружены в Баренцевом и Охотском море, а самая незначительная – в Восточно-Сибирском море. Средняя концентрация в Баренцевом море составила в 2019 г. 30 шт/м^3. Были найдены частицы микропластика разных форм, размеров и цветов, наиболее часто встречающиеся - нитевидные прозрачные волокна. Частицы неопределенных форм ярких цветов были найдены в морях с сильной транспортной нагрузкой, а именно Баренцево, Карское и Охотское море. Большая часть микрочастиц представляет собой полимеры типа полиэтилентерефталат PET, полипропилен PP и полиэтилен PE.

Пробы воды, полученные в 2021 г., находятся в обработке, предварительные результаты будут представлены в докладе. Обследования побережий при высадках в 2021 году показали значительную загрязненность побережий пластиковым мусором на Новой земле (на мысе Желания) и на острове Бэлл Земли Франца-Иосифа. Найдено большое количество антропогенного мусора на Баренцевоморском побережье м. Желания (6 больших мешков для мусора по объему, более 1000 фрагментов и пластиковых изделий на 100 метров пляжа), что примерно в 8 раз больше количества мусора на Карском побережье того же мыса. При этом состав мусора на побережьях двух экспозиций значительно отличался: на Баренцевоморском участке мусор представлял собой остатки рыболовных снастей и флаконы от различных косметических продуктов и непищевых бутылок европейского происхождения, в то время как на Карском участке мусор был преимущественно металлическим, имеющим скорее всего местное происхождение (остатки хозяйственной деятельности на Н.Земле).

На о.Бэлл ЗФИ найдено более 100 фрагментов и изделий из пластика на 100 м пляжа при полном отсутствии других материалов (металл, дерево, текстиль), что говорит об отличии источников поступления мусора на данное побережье и на побережье мыса Желания и путей его распространения.

В очередной раз подтверждается теория о переносе пластикового мусора в западную Арктику из Северной Атлантики из более густонаселенных регионов Европы и Америки и его аккумуляции в Баренцевом море у берегов Новой Земли и необитаемых островов Земли Франца-Иосифа.

Исследования выполнялись в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FSZU-2020-0009, а также при поддержке «Арктического плавучего университета – АПУ-2021».

РОЛЬ МОРСКИХ МАКРОФИТОВ В УДЕРЖАНИИ МИКРОПЛАСТИКА В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ

Есюкова Е.Е., Лобчук О.И., Володина А.А., Чубаренко И.П.

ИО РАН, г. Москва, Россия
elena_esiukova@mail.ru

Ключевые слова: макрофиты, макроводоросли, загрязнение, микропластик, волокна, подводный склон, Балтийское море.

Проведён анализ загрязнение микропластиком (МП, размер 0,2–5 мм) вод за пределами / внутри зарослей макрофитов (содержащих нитчатые или хрящеватые виды водорослей) и макроводорослей (в их сухом весе). Макрофиты произрастают на подводном склоне на глубине 3–9 м в юго-восточной части Балтийского моря.

Количество частиц МП в пробах воды, отобранных внутри зарослей, в среднем в 1,7 раза (от 1,1 до 5,3 раза) выше, чем в пробах воды, отобранных вне зарослей. Волокна являются преобладающей формой МП (92,5%), составляя 2,2 ± 2,1 (1,2 ± 1,5) шт./л в воде внутри (вне) зарослей макроводорослей. Это загрязнение на два порядка больше, чем в открытых водах Балтийского моря. Для макроводорослей, произрастающих на валунах, концентрация МП на единицу площади составляет 1245 ± 1020 (в диапазоне 48–3088) шт./м^2 для всех станций. На килограмм сухой массы водорослей концентрация МП составляет 376 ± 404 шт./кг. сух.веса

для всех форм частиц МП. Эта величина на порядок выше, чем в песках зоны уреза в данном районе. Показано, что нитчатые водоросли (*Polysiphonia fucoides, Cladophora rupestris, Cladophora glomerata* и др.) удерживают больше волокон, чем хрящеватые (*Furcellaria lumbricalis* и *Coccotylus truncates*): 1,9-8,5 против 1–1,1 шт./л в среднем по станции. Более 60% МП попадают в диапазон размеров 0,5–2 мм, как для проб воды, так и для проб водорослей. Очевидно, что территории, покрытые морскими макрофитами, гораздо более загрязнены, чем вода и донные отложения в данном районе.

Экспедиционные работы поддержаны грантом Российского научного фонда № 19-17-00041. Обработка проб выполнена в рамках госзадания ИО РАН (тема № 0128-2021-0012).

ДЕГРАДАЦИЯ ДЮННЫХ ЛАНДШАФТОВ НА ПОБЕРЕЖЬЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Ефремова Т.В., Горячкин Ю.Н.

МГИ, г. Севастополь, Россия
efremova@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Черное море, побережье, дюнные ландшафты, антропогенное воздействие.

Как известно, прибрежные дюны являются природным аккумулятором песка, естественной преградой, защищающей песчаные берега от размыва. Кроме этого, песчаные дюны на морском побережье – уникальные экосистемы с богатым разнообразием растительных сообществ, в ряде районов они играют существенную роль в балансе донных наносов. Еще недавно прибрежные дюнные ландшафты Черного моря занимали достаточно большие участки берегов. Дюны частично разрушались, изменяли конфигурацию в ходе экстремальных штормов, а затем постепенно восстанавливались. Однако в последние десятилетия наиболее разрушительным фактором стала человеческая деятельность. Ан-

тропогенное воздействие на дюны вызвано усилившейся прибрежной урбанизацией и выражается в строительстве на дюнах различных объектов рекреации, дорог, парковок, нерегулируемых кемпингов и «временных» построек, планировании естественного рельефа пляжей. Кроме этого, дюны являются предметом незаконной добычи песка.

Деградация дюн, к сожалению, характерна для всех причерноморских государств. Так в Болгарии, где дюны занимали большие площади, они сохранились только на 10 % всей береговой линии. По оценке болгарских ученых, в настоящее время общая длина сохранившихся песчаных дюн составляет 38 км, а общая площадь 8,8 км^2. В два раза сократилась площадь дюн в районе одного из самых известных морских курортов Болгарии – Солнечный берег. В недалеком прошлом, до вмешательства человека, пляж здесь характеризовался типичным дюнным ландшафтом, а отдельные дюны достигали высоты 11 м. Однако значительная их часть была разрушена в ходе строительства отелей курорта. Наиболее многочисленные дюнные комплексы сейчас в основном расположены на южном побережье Болгарии.

Тревогу о состоянии дюнных ландшафтов выражают и румынские ученые, хотя в этой стране они сохранились в более значительной мере, что связано с меньшей степенью освоения районов, где имеются дюны. В Румынии широко применяют защиту от эолового выдувания песка посредством размещения тростниковых щитов на пляжах в зимний период.

Хотя на турецком побережье дюнные ландшафты занимают относительно небольшие площади, однако и здесь отмечается их сокращение в результате антропогенной деятельности.

На российском побережье Черного моря наибольшие ареалы распространения дюн расположены на Анапской пересыпи и на Крымском полуострове. В настоящее время они подвергаются значительному антропогенному воздействию. Так возведение проходов в дюнах снижает устойчивость берега к воздействию штормовых волн, наносит ущерб растительному и животному миру дюн, снижает привлекательность ландшафта. Разрушение растительного покрова, в том числе и квадроциклами, приводит к усилению эолового выноса песка с пляжа в море и на территорию рекреационных объектов. Строительство зачастую ведется в

зоне возможного подтопления, за фронтом дюн. Кроме этого, возведение высоких зданий вблизи дюн препятствуют возврату на пляж вынесенного ветром из прибрежной зоны песка, что является ещё одной причиной отступания берега. На Крымском полуострове до начала его активного освоения протяженность берегов с дюнным ландшафтом, по нашей оценке, составляла 179 км. В настоящее время они полностью исчезли на протяжении около 30 км, площадь их продолжает сокращаться. Дюнные ландшафты черноморского побережья из-за антропогенного воздействия в настоящее время находятся под угрозой деградации или исчезновения. Их естественное восстановление происходит либо очень медленно, либо вообще невозможно, поэтому они нуждаются в защите и восстановлении.

Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания № 0555-2021-0005.

МОРСКИЕ БЕРЕГА РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ И ПРОБЛЕМЫ БЕРЕГОЗАЩИТЫ

Ивлиева О.В., Беспалова Л.А.

ЮФУ, г.Ростов-на-Дону, Россия
РосИНИВХЦ, г.Ростов-на-Дону, Россия
ivlieva.o@mail.ru

Ключевые слова: берегозашита, буны, воноотбойные стены, габионы, искусственный пляж.

Существующие берегозащитные сооружения на побережье Таганрогского залива сосредоточены в основном на северном берегу. Отдельные сооружения различного типа создавались в разное время и в данный момент часть из них полностью разрушена. Как правило, разрушению подвержены вертикальные бетонные стенки, создававшиеся с целью защиты от абразии, подпора оползневых и обвальных склонов.

Обследование побережья Таганрогского залива в пределах Ростовской области показало, что состояние берега и берегозащиты

крайне неудовлетворительно. Применяемые защитные сооружения г. Таганрога разнотипны (более 10 типов на 7 км берега) и не отвечают природным условиям района. Сохранность имеющихся искусственных пляжей города: «Городской пляж», «Приморский пляж», «Солнечный пляж» возможна лишь при условии регулярных подсыпок песчаного материала, так как поступление песчаного материала с подводного склона и из береговых обрывов крайне ограничено. Построенные повсеместно буны не выполняют своей пляжеудерживающей функции и активно разрушаются, поскольку заполнение межбунных карманов и наращивание пляжа регламентировано маломощным вдольбереговым потоком наносов. Еще менее эффективными оказались сооружения вертикальных бетонных стен, особенно блочного строения. Все они быстро и активно разрушаются морем (территория завода Бериева, Комбайновый завод). Также крайне недопустимо возведение на пляжах тяжелых бетонных конструкций в виде набережной на территории «Солнечного пляжа», это может привести к осыпанию пляжа и сползанию конструкции в море. Для защиты промышленных объектов и жилого фонда города Таганрога прежде всего необходимо создание единой схемы берегозащиты, предусматривающей демонтаж или консервацию неэффективных берегозащитных сооружений.

На северном побережье Таганрогского залива в первую очередь необходим комплекс берегозащитных мероприятий в Весело-Вознесеновке и Таганроге. Так, для Весело-Вознесеновского участка протяженностью 1,6 км характерен абразионно-обвальный тип берега со скоростью абразии от 1,8 до 6,0 м/год. Берегозащита существует в восточной части села, в районе базы отдыха «Ивушка» - в виде волноотбойной железобетонной стенки. Сооружение разрушено практически полностью. Для предотвращения процесса абразии необходимо планирование склона с отсыпкой каменно-набросной бермы. В случае рекреационного использования побережья целесообразна засыпка бермы галечно-гравийным материалом.

Характеризуя в целом состояние берегозащитных сооружений Таганрогского залива в пределах Ростовской области, необходимо отметить, что сегодня общая протяженность защищенной

береговой полосы составляет около 17 км, а нуждается в берегозащите еще около 60 км. Существующие берегозащитные сооружения в большинстве своем находятся в аварийном состоянии и морально устарели.

Применяемые пассивные способы защиты берегов (жесткие конструкции), как правило, это бетонные преграды, создаваемые с целью разрушения прибойных волн и стабилизации основания коренного берега – совершенно не эффективны. Кроме того, использование громоздких железобетонных конструкций ограничивает возможность рекреационного использования побережья.

В качестве перспективных способов берегозащиты, с учетом положительного мирового опыта, целесообразно использование комбинированного способа защиты, сочетающего искусственный пляж с наносоудерживающими сооружениями, а также свободных галечно-песчаных пляжей.

Работа выполнена в рамках научного проекта РФФИ № 18-05-80082 по теме «Закономерности формирования опасных береговых процессов в Азовском море и социально-экономические последствия их проявлений».

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ГЕОРИСКОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКОГО ПОРТА

Истомин Е.П., Мартын И.А., Михеев В.Л.

РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия
Irma_martyn@mail.ru

Ключевые слова: гидродинамическое моделирование, нестационарная двухмерная модель, ветровое волнение, оценка рисков.

Особая роль в настоящее время отводится проблемам устойчивого развития территорий в вопросах управления. Принятие управленческих решений должно учитывать взаимосвязь экономической и социальной деятельности с природными, в том числе

гидрометеорологическими, факторами. Для обеспечения безопасности портовых акваторий задачи прогнозирования гидрометеорологических условий довольно широка и позволяет провести дальнейшую оценку рисков.

На замкнутых акваториях ветровое волнение представляет опасность в первую очередь для пришвартованных судов, особенно у причалов на акватории порта. В связи с этим, моделирование ветрового волнения имеет особую роль для функционирования портовых акваторий.

В работе выполняется построение, исследование и численная реализация математической модели решения волновой гидродинамики для случая акватории порта при постановке берегозащитного сооружения в виде мола на примере морского порта бухта Пяти Охотников. Была разработана математическая модель движения поверхностных волн в среде разработки Delphi, распространения ветрового волнения рассчитывается по нестационарной двухмерной модели, в которой для расчета возмущений уровня поверхности используется система уравнений в приближении Буссинеска (уравнения движения и уравнения неразрывности). Система уравнений решается методом конечных разностей на смещенной прямоугольной сетке. На твердых боковых границах устанавливается граничное условие в виде условия непротекания, на жидкой боковой границе задается условие пропускания, заданное с помощью импедансного соотношения, на поверхности задавалось отсутствие касательного напряжения трения ветра и на дне задается условие прилипания для горизонтальных составляющих скорости. Исходными данными модели является массив глубин для расчетной сетки, параметры поступающего волнения задаются с помощью фиктивного источника. Выходные данные модели – полученные характеристик волнения (высота волн, амплитуда и скорость).

При прогнозировании риска от события, необходимо спрогнозировать вероятность наступления такого события. Событие считается наступившим, если высота и скорость волны превысили определенные границы. Прогнозирование волновых характеристик позволит рассчитать вероятность невыхода характеристик волнения на заданном временном интервале и при возникнове-

нии такой ситуации заранее определить момент выхода за заданные границы, что позволит дать рекомендации для управленческих решений на акватории порта.

В результате работы была реализована математическая модель расчета характеристик ветрового волнения для акватории порта. Полученные результаты пространственно-временной изменчивости характеристик волнения представлены в графическом виде с применением цветовой палитры. Показана непротиворечивость полученных результатов физическим законам.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОБЕРЕЖЬЯ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ ОСТАТКАМИ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Килесо А.В., Чубаренко Б.В., Есюкова Е.Е.

ИО РАН, г. Москва, Россия
aleksandr.kileso@gmail.com

Ключевые слова: геосинтетические материалы, прибрежная зона, загрязнения пляжей, Балтийское море, экологический мониторинг.

Представлен обзор результатов по оценке степени загрязнения пляжевой полосы Калининградской области остатками геосинтетических материалов, попавших в прибрежную зону в результате повреждения или разрушения существующих берегозащитных сооружений, а также при попытках инициативной берегозащиты.

Мониторинговые работы выполняли в течении трех лет (2018–2020 гг.) на всем побережье Калининградской области (145 км). Для оценки встречаемости фрагментов геосинтетических материалов (не мельче 0,5 см) применялась методика сплошного визуального сканирования, которая предполагает непрерывный проход вдоль берега группы в несколько человек с охватом визуальным контролем всей ширины пляжа от уреза до авандюны (или клифа).

Статистический анализ мониторинговых данных позволил оценить масштабы загрязнения пляжей. Сделаны выводы об особенностях вдольберегового переноса данного вида загрязнения на побережье Калининградской области.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-55-76002 ЭРА_а (экспедиционные работы) и темы 0128-2021-0012 гос. задания ИОРАН (анализ данных).

МОНИТОРИНГ РАЗВИТИЯ БЕРЕГОВЫХ ПРОЦЕССОВ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

Ковалева О.А., Рябчук Д.В., Сергеев А.Ю., Буданов Л.М.

ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург, Россия
olya_pavlikova@mail.ru

Ключевые слова: береговая зона, береговая абразия, техногенный берег, восточная часть Финского залива, Балтийское море.

Береговая зона восточной части Финского залива (ВЧФЗ) представлена большим разнообразием типов берегов, отражая этапы эволюции Балтийского моря. Подобная вариация приводит к разным сценариям развития берега как в естественных условиях, так и при акселерации воздействия антропогенного, так и климатического благодаря глобальному повышению уровня моря. Стабильные Выборгские шхеры сменяются абразионными моренными берегами, где скорость отступания берега хоть и небольшая (0,1 м/год), но стабильная. Наибольшая скорость отступания берега характерна для абразионных берегов, сложенных неконсолидированным материалом и выработанных в морской голоценовой террасе – до -0,7 м/год. Уникальной особенностью береговой зоны является динамичное развитие песчаных кос со скоростью вдольберегового смещение до 66 м/год [Ryabchuk et al., 2021].

Помимо естественных процессов разрушения берегов, для отдельных наиболее освоенных участков субаэральной части береговой ВЧФЗ характерно увеличение протяженности техногенных берегов, которые представляют собой как искусственные набережные, так и элементы жесткой берегозащиты. Непродуманное выполнение берегоукрепительных мер приводит к деградации сооружений, а также активизирует абразионные процессы на соседних участках берега и значительно увеличивает скорость проявления экзогенных геологических процессов (ЭГП).

За период наблюдения в северной береговой зоне Невской Губы (кутовая часть ВЧФЗ) пляж «Морские Дубки» претерпел значительные изменения – еще 40 лет назад ширина пляжа здесь составляла более 50 м, сейчас ширина пляжа составляет первые метры (по данным аэрофотосъемки и дистанционного зондирования (ДЗ)). Данный участок береговой зоны изначально характеризовался преобладанием абразионных процессов и дефицитом осадочного материала, которые еще более усугубились постройкой выдающихся в море сооружений, прерывающих поток материала, направленный с запада на восток, а также непродуманными берегоукрепительными мероприятиями (2020–2021 гг.), представляющими собой сплошную глыбовую отсыпку на урезе пляжа, которая препятствовала восстановлению профиля пляжа, изолируя его от акватории, что привело к его деградации.

Не менее ярким примером проявления ЭГП, связанного с природного факторами, является р. Приветная, располагающаяся на западе Курортного района г. Санкт-Петербурга. На протяжении долгого времени русло реки пролегало параллельно береговой линии, формируя береговую косу, для удобства был сооружен мост, который потерял свою необходимость из-за изменения положения русла в 2014 г. (по данным ДЗ) и был полностью занесен пляжевым песком. Смена положения русла реки привела к тому, что активный речной сток повлек за собой активизацию литодинамических процессов и вынос песчаного материала с пляжа, размыв указанный мост до основания, т. е. к 2021 г. был вымыт слой материала мощностью более 2,5 м.

Анализ данных ДЗ и береговые маршруты выполнены при поддержке гранта РНФ № 17-77-20041.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛГОЖИВУЩИХ ИЗОТОПОВ РАДИЯ В ПРИБРЕЖНЫХ И ГЛУБОКОВОДНЫХ РАЙОНАХ ЧЕРНОГО МОРЯ

Козловская О.Н., Шибецкая Ю.Г., Бежин Н.А., Довгий И.И.

МГИ, г. Севастополь, Россия
o.n.kozlovska@gmail.com

Ключевые слова: изотопы радия, Черное море, субмаринная разгрузка подземных вод.

Радий является геохимически консервативным элементом, а также не участвует в биологических процессах. Радий имеет четыре изотопа терригенного происхождения, два из них – долгоживущие – являются продуктами распада в рядах ^{238}U (^{226}Ra) и ^{232}Th (^{228}Ra) и используются для оценки процессов, протекающих в зонах выхода подземных вод.

Южный берег Крыма известен источниками выхода подземных вод ниже уровня моря. По данным четырех экспедиций (весна, осень 2019 г. и зима, лето 2020 г.) у очага субмаринной разгрузки в районе мыса Айя были оценены концентрации изотопов ^{226}Ra и ^{228}Ra, активности которых составили 195 dpm/м^3 (диапазон 63–295 dpm/м^3) и 85 dpm/м^3 (диапазон 48–141 dpm/м^3) соответственно.

Также были получены распределения изотопов ^{226}Ra и ^{228}Ra в открытой части моря по данным 116 рейса НИС «Профессор Водяницкий» (22 апреля – 17 мая 2021 г.). Показаны уменьшение активностей изотопов ^{226}Ra при удалении от берега и рост активности изотопов ^{228}Ra в мористых пробах.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № 0555-2021-0004).

ОСОБЕННОСТИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ ФОСФАТОВ И КРЕМНЕКИСЛОТЫ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 2016-2018 ГГ.

Кондратьев С.И., Хоружий Д.С.

МГИ, г. Севастополь, Россия
skondratt@mail.ru

Ключевые слова: кремнекислота, фосфаты, Черное море, вертикальный профиль.

Соединения фосфора и кремния играют важную роль в биогеохимических процессах, происходящих в водных объектах. Неорганическая форма фосфора – фосфаты – являются источником биогенного макроэлемента, необходимого для существования как микро-, так и макроформ водорослей, и часто оказываются фактором, лимитирующим рост этих форм. Основными потребителями неорганической формы кремния – кремнекислоты – являются диатомовые водоросли, которые используют ее для построения скелета и во многих водных объектах являются преобладающим видом в составе фитопланктона.

Общее сходство между кремнекислотой и фосфатами в Черном море состоит в том, что за последние 30 лет их вертикальные профили оставались практически неизменными глубже возникновения оксиклина, образующегося в интервале изопикн σ_t = 14,2–14,5 кг/м^3. Среди особенностей этих профилей следует отметить, что концентрация кремнекислоты на границе появления сероводорода около σ_t = 16,1 кг/м^3 не превышала 60 мкМ, а максимум фосфатов возле этой границы не превышал 7,5–8,0 мкМ.

Морской гидрофизический институт в 2016–2018 гг. провел 10 экспедиций в Черном море в пределах экономической зоны России, в которых определялось содержание фосфатов и кремнекислоты от поверхности до изопикны σ_t = 16,3 кг/м^3.

Учитывая отмеченное выше постоянство вертикальных профилей, мы ожидали, что и в последующие годы профили не будут изменяться. Действительно, в 2016–2017 гг. наблюдалось привычные вертикальные распределения, как для кремнекислоты, так и для фосфатов, однако в 2018 г концентрации этих элементов глубже изопикны σ_t = 14,2–14,5 кг/м^3 значительно возросли. Это

возрастание было отмечено для всех трех съемок 2018 г., то есть не является каким-то единичным выбросом из массива данных, возникшим в результате аналитической ошибки.

На шести станциях меридионального разреза в районе Керченского пролива и на некоторых рядом расположенных станциях в июне 2018 г. глубже изопикны $\sigma_t = 14{,}5$ кг/м^3 было обнаружено значительное возрастание концентраций кремнекислоты, которые на $\sigma_t = 16{,}1$ кг/м^3 значительно превышали привычное значение 60 мкМ, достигая в отдельных случаях величин 150–200 мкМ. Аналогичное возрастание концентраций было отмечено и на вертикальных профилях фосфатов, максимум которых возле изопикны $\sigma_t = 16{,}1$ кг/м^3 часто превышал 10–12 мкМ.

Наибольшие изменения в вертикальном распределении фосфатов и кремнекислоты в июне 2018 г. наблюдались в районе Керченского пролива. В других районах исследованного полигона в это же время также отмечались аналогичные изменения, тем менее заметные, чем дальше от Керченского пролива располагался район.

Причины повышения содержания кремнекислоты ниже изопикны $\sigma_t = 14{,}5$ кг/м^3 и увеличения величины максимума фосфатов возле границы появления сероводорода возможно связаны с работами по установлению Керченского моста.

Обнаруженные нами изменения в вертикальных профилях фосфатов и кремнекислоты требуют дальнейшего мониторинга водной толщи Черного моря, тем более, что повышение концентраций этих элементов на границе сероводорода в районе Керченского пролива были отмечены также в июне 2019 г.

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЫ

Котельянец Е.А., Гуров К.И., Тихонова Е.А., Кондратьев С.И.

МГИ, г. Севастополь, Россия
plistus@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, Балаклавская бухта, донные отложения, тяжелые металлы.

Балаклавская бухта занимает особое место в системе Севастопольских бухт. Она имеет уникальные природно-климатические условия, а её географическое положение, морфометрические характеристики и историческая ценность открывают широкие возможности для развития курортно-рекреационного комплекса Севастопольского региона.

Важную роль в биогеохимическом цикле элементов в морской среде играют донные отложения, являющиеся местом их депонирования. Изучение эволюции осадконакопления является необходимым для оценки современного экологического состояния морской среды.

Цель работы – оценка распределения тяжелых металлов в вертикальном разрезе донных отложений в акватории Балаклавской бухты. В работе проведено исследование вертикального распределения содержания тяжелых металлов (Pb, Zn, Cu, Cr, Ni) в донных отложениях. Это важно для восстановления истории процессов загрязнения, воздействующих на акваторию, малоизученной Балаклавской бухты.

Результаты содержания металлов в толще донных осадков указывают на существования общей тенденции в распределении для большинства исследованных элементов – повышение концентраций к поверхности осадка. Вертикальные профили свинца, цинка, меди показывают два четко выраженных максимума: один на глубине 4–5 см от поверхности осадка с обширным диапазоном концентраций, другой – на глубине 8–10 см ниже поверхности осадка. На данных горизонтах характерны максимальные концентрации хрома и никеля.

Вертикальное профилирование исследуемых донных отложений бухты отражает характер изменчивости, который формируется в результате физико-химических процессов (диагенеза, динамических, седиментационных), а также временно́й эволюции концентраций ряда тяжелых металлов, обусловленной историей антропогенной нагрузки. Особенности профилирования исследованных элементов характеризуются как геохимическими свойствами донных отложений, так и характером источников загрязнения и интенсивностью антропогенной нагрузки. В работе представлено содержание тяжелых металлов (минимальное, макси-

мально) для каждой из изученных колонок в сравнении с фоновым содержание данных элементов в донных отложениях Черного моря, согласно [Митропольский и др., 1982]. Максимальное содержание Cu, Cr, Zn, Pb превышает их фоновые значения.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0005 «Прибрежные исследования», а также при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-45-920007.

РЕЗИДЕНТНОЕ ВРЕМЯ БЕРИЛЛИЯ-7(^{7}BE) В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ

Кременчуцкий Д.А., Батраков Г.Ф.

МГИ, г. Севастополь, Россия
d.kremenchutskii@mhi-ras.ru

Ключевые слова: бериллий-7(^{7}Be), Черное море, ВКС, резидентное время.

Бериллий-7 – это радионуклид космогенного происхождения, образующийся в атмосфере в результате взаимодействия потока космических лучей с кислородом, азотом и углеродом. Ввиду отсутствия локальных источников этого радионуклида в морской среде и малого периода полураспада (около 53 суток), он может быть трассером процессов, протекающих в деятельном слое вод на масштабах времени от синоптического до сезонного. Целью данного исследования было получение количественных оценок резидентного времени радионуклида в верхнем квазиоднородном слое (ВКС) вод Черного моря в летний сезон 2017 г.

В работе используются натурные данные о вертикальном распределении концентрации бериллия-7 в растворенной и адсорбированной на взвеси формах, полученные в ходе 95-го рейса НИС «Профессор Водяницкий». Согласно этим данным, концентрация радионуклида изменялась по пространству от 2,5 до 7,9 Бк м$^{-3}$ и составляла в среднем 4,9 ± 1,8 Бк м$^{-3}$. В среднем 8 ± 2 % от общей величины активности радионуклида в слое обнаруживалось на взвешенном веществе. В работе предложена боксовая модель,

позволяющая получить количественные оценки резидентного времени нахождения бериллия-7 в ВКС вод Черного моря с учетом его радиоактивного распада в этом слое, а также его адвекции, диффузии и седиментации на взвешенном веществе через сезонный термоклин. Установлено, что величина этого времени изменялась по пространству от 5,5 до 20,6 суток и составляла в среднем 14,6 ± 4,9 суток. Минимальные величины времени были характерны для районов свала глубин, максимальные – для глубоководных районов, характеризующихся пониженной динамикой вод. Шельфовые районы характеризовались промежуточными значениями времени.

Работа выполнена в рамках задания государственного задания по теме № 0555-2021-0004.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА В ПЕСКАХ ПРИБОЙНОЙ ЗОНЫ ВИСЛИНСКОЙ КОСЫ

Кривошлык П.Н.[1,2], Чубаренко И.П.[1], Бочерикова И.Ю.[1,2]

[1]ИО РАН, г. Калининград, Россия
[2]БФУ, г. Калининград, Россия
Poka20106@yandex.ru

Ключевые слова: загрязнение, волокна микропластика, гранулометрия, пляж, Балтийское море.

Мелкие частицы пластика (микропластик, МП, <5мм) обнаруживаются в настоящее время на берегах всех континентов. Отмечается неоднородность, пятнистость картины загрязнения, что затрудняет мониторинг и сравнение уровней загрязнения. Показано, что в прибойной зоне пляжа наблюдается минимальное содержание частиц МП, а его количественный разброс на многих десятках километров вдоль берега не так велик, как в других зонах пляжа. Предположительно, в этой зоне пляжа происходит сортировка частиц пластика по размеру, аналогично тому, как это

наблюдается для естественных осадков. При этом крупные частицы пластика выбрасываются волнами прибоя на линию заплеска, совсем мелкие (меньше размера пор осадка в прибойной зоне) вымываются обратно в море с возвратным потоком просачивающихся в грунт вод, а вот частицы МП (на песчаных пляжах – размером 0,5–2 мм) задерживаются между гранулами осадка в прибойной зоне.

Цель работы – выявить сезонную динамику содержания частиц МП фракций 0,5–2 и 2–5 мм в прибойной зоне песчаного пляжа; проанализировать взаимосвязь загрязнения с гранулометрическим составом осадка.

В ходе исследования решались следующие задачи: (1) Провести обработку проб и их анализ на содержание частиц МП; (2) провести гранулометрический анализ образов осадка; (3) выявить возможные корреляции между количеством частиц МП и характеристиками осадка.

Собранные образцы песка просушивались, делились просеиванием на фракции (>5; 5–2; 2–1; 1–0,5; <0,5). Песок <0,5мм далее в исследовании не участвовал, пески крупнее 2 мм осматривались визуально на предмет содержания МП. Песок, содержащийся между ситами 0,5–2 флотировался по модифицированному методу NOAA. Далее пробы просматривались на микроскопе Микромед с увеличением 10×.

На фильтрах было обнаружено от 9 до 79 частиц МП. Гланулометрический состав практически весь представлен песками среднезернистыми (по Вентворту, 1929) с коэффициентом сортировки от 1,2 до 1,9. Две пробы были представлены галькой, в них обнаружилось наибольшее количество МП.

Среднее значение загрязнения частицами МП песков уреза Вислинской косы в течение года составило 63±39 шт./кг сухого веса (медианное значение 50 шт./кг). Сезонный ход не выявлен. Уровень загрязнения сопоставим с обнаруженным в предыдущих исследованиях (53±36 шт./кг). Это позволяет надеяться на правомерность предположений о равномерности загрязнения осадков прибойной зоны. Таким образом, возможно использовать этот уровень загрязнения в качестве «фонового» в целях мониторинга загрязнения пляжей и морской среды частицами МП.

Исследования проводятся при поддержке РНФ, грант 19-17-00041.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ И СТРОЕНИЕ БАНКИ ЕЛЕНИНА

Крыленко В.В., Крыленко М.В.

ИО РАН, г. Москва, Россия
krylenko.slava@gmail.com

Ключевые слова: Азовское море, аккумулятивные формы, банка Еленина, подводный рельеф, дистанционные методы.

Коса Долгая и банка Еленина представляют собой одну из наиболее интересных аккумулятивных геосистем Азовского моря. В отличие от косы Долгой, происхождение и строение банки Еленина до настоящего времени изучено мало.

Первое изображение банки и промеры глубин имеются на картах Питера Бергмана 1701–1702 гг. В 1803 г. получены сведения по конфигурации и размерам банки: «Длина банки 31,7 км, в начале идет прямо, а потом оканчивается параллельными извилинами при ширине её 2,5–3,5 км. Продольный профиль банки осложнен поднятиями и понижениями, глубины к ЮВ от оси банки меньше, чем к СЗ. Банка состоит из «крупного песку и красноватых мелких ракушек». К западу от банки грунт илистый». В Лоции 1808 г. банка названа по имени судна «Елена», стоявшего там на мели в 1801 г.

В 2018–2020 гг. на основе космических снимков Sentinel-2 построены цифровые модели подводного рельефа вблизи косы Долгой и банки Еленина. Морфометрический анализ выявил различия в строении подводной отмели косы Долгой и банки Еленина, что указывает на их различный генезис.

Поперечный профиль банки Еленина указывает на современное преобладающее направление движения наносов с юга на север (поперек простирания аккумулятивного тела). К югу от банки Еленина происходит продуцирование ракуши, которая, влекомая волнами по пологому южному склону аккумулятивного тела, достигает крутого северного края, расположенного над резким свалом глубин (бортом долины Палео-Дона). Банка Еленина аккумулирует большую часть наносов, переносимых на С-СВ, в толще

современных донных осадков к северу от банки Еленина ракуша отсутствует.

Конфигурация банки Еленина дает основания предполагать, что она образовалась как надводная свободная аккумулятивная форма в ходе фанагорийской регрессии 2,5–1,7 тыс. л. н. Смещение в плане положения линии берега, соответствующее снижению уровня моря в фанагорийскую регрессию на 5-6 м, «приводит» корень банки к резкому изгибу коренного берега Ейского полуострова (м. Обрыв), где образовалась коса. По аналогии со скоростью роста косы Долгой, время формирования аккумулятивного тела банки Еленина составляет около 1700 лет, что сопоставимо с продолжительностью фанагорийской регрессии. Последующая трансгрессия «оторвала» эту косу от зоны питания вдольбереговыми наносами (изгиба берега). Вероятно, подъем уровня моря происходил быстро, поскольку аккумулятивное тело банки Еленина не было размыто, но оказалось под водой. Часть накопленного материала могла быть смещена на север и способствовать росту косы Долгой.

В настоящее время банка Еленина является активной аккумулятивной формой и оказывает влияние на гидро-литодинамический режим прилегающей части Азовского моря. Банка Еленина способствует формированию к северу от нее сильных и устойчивых по направлению течений. У западной оконечности банки прослеживаются до 8 дуговидных гряд длиной до 6 км, расстояние между соседними 0,3–0,5 км, высота около 0,5 м. Данные формы могут являться реликтовыми дистальными оконечностями, подобные которым имеются на современных косах Азовского моря. Еще одним вариантом их возникновения может быть проявление турбулентных движений воды, возникающих у оконечности банки Еленина во время сгонно-нагонных или сейшевых явлений.

Анализ рельефа и происхождения банки Еленина и косы Долгой выполнены при поддержке РНФ (проект 20-17-00060). Использованы материалы, полученные при выполнении темы Госзадания № 0149-2019-0014 и при поддержке РФФИ (проекты 18-55-34002, 19-45-230004).

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ И ЭОЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗОНЕ ПЛЯЖА

Крыленко М.В., Косьян Р.Д., Крыленко В.В., Крыленко Д.В.

ИО РАН, г. Москва, Россия
krylenko@mail.ru

Ключевые слова: береговая зона, аккумулятивный берег, эоловые формы рельефа, песок, Черное море, пляж.

Анапская пересыпь является крупной аккумулятивной формой, расположенной в северо-восточной части Черного моря. В поперечном строении Анапской пересыпи от береговой линии моря к лиману одна за другой сменяются несколько морфологических зон. Пляж является обязательным элементом поперечного строения всех отрезков Анапской пересыпи. На значительной части пересыпи поперечный профиль пляжа можно охарактеризовать как пляж полного профиля, осложненный рядом гидрогенных и эоловых форм. Рельеф пляжей конкретного участка берега обычно обусловлен характеристиками сформировавших его гидрогенных процессов, с последующим преобразованием под действием эоловых, биогенных и антропогенных процессов. В данной работе рассматривается пляж северного участка Витязевской пересыпи.

Активный пляж участка состоит из пологонаклонной поверхности, ширина которой определяется параметрами действующих волн. Эоловые процессы в пределах активного пляжа большую часть времени отсутствуют из-за высокой влажности песка, но при высыхании эта зона становится источником материала. Песок развеивается ветром только до уровня ветроустойчивой поверхности. Эоловые формы в пределах активного пляжа недолговечны, так как быстро уничтожаются гидрогенными процессами. Присутствует транзит песка ветровым потоком в море, т. к. преобладают ветра со стороны суши.

Далее идет практически горизонтальная поверхность пляжа шириной 20–35 м, которая подвергается воздействию заплеска

лишь во время сильных штормов. Эта зона является основным источником наносов, вовлекаемых в эоловые процессы. В зависимости от направления ветра идет вынос песка на сушу или в море. В результате наличия ракуши в составе пляжевых отложений может формироваться ветроустойчивая поверхность, резко снижающая вынос песка.

В пригребневой части пляжа полного профиля, имеющей высотные отметки около 2 м, на поверхности формируются аккумулятивные эоловые формы высотой до 0,5–0,7 м. Они представляют собой вытянутые поперек линии берега узкие дюны, что связано с наличием преобладающих ветров, направленных практически перпендикулярно береговой линии в противоположных направлениях. Эти дюны не образуют единую вдольбереговую гряду (авандюну), поскольку разделены протяженными ложбинами гидрогенно-антропогенного происхождения. Заплесковые воды, перехлестывая через гребень пляжа, не размывают весь сформировавшийся эоловый рельеф, а концентрируются в ложбинах, что позволяет дюнам продолжать развиваться и сохраняться на протяжении нескольких лет. Однако, при сильных штормах имеющиеся эоловые формы также могут подвергаться размыву.

В тыльной части пляжа высотные отметки поверхности понижаются, также снижается высота и количество дюн. Присутствуют следы периодического затопления морскими водами, которые поступают по ложбинам. Для гальки характерно эоловое истирание поверхности, что указывает на воздействие транзитного ветропесчаного потока.

Таким образом, вся площадь пляжа исследуемого участка подвергается постоянному или периодическому воздействию гидрогенных процессов. Несмотря на это, эоловые процессы проявляются не только в виде транзита песчаных наносов, но и формируют устойчивые аккумулятивные эоловые формы, что не характерно для пляжей.

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект 20-17-00060).

ОБ ОБНАРУЖЕНИИ ЖИВЫХ ОСОБЕЙ *FLEXOPECTEN GLABER PONTICUS* В ПЛЯЖЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ

Крыленко С.В.

ИО РАН, г. Геленджик, Россия
krylenkoserg@mail.ru

Ключевые слова: *Flexopecten glaber ponticus*, Анапская пересыпь, пляжеобразующий материал, аккумулятивные формы.

На фоне глобального дефицита пляжеобразующих наносов на морских берегах всё большее значение в пляжеобразовании приобретает карбонатный материал биогенного происхождения. В литодинамическом бюджете многих береговых аккумулятивных форм Азово-Черноморского региона ракушечный детрит играет важную роль. К примеру, содержание раковинного материала в пляжевых отложениях Анапской пересыпи может достигать 50 %. По результатам проведенных ранее сотрудниками Южного отделения Института Океанологии РАН исследований годичное поступление биогенного карбоната на 1 погонный метр пересыпи составляет около 350 кг в год. Главная роль в поступлении ракушечного детрита в настоящее время принадлежит массовым видам двустворчатых моллюсков – венеркам *Chamelea gallina* (Linnaeus, 1758) и донаксам *Donax trunculus* (Linnaeus, 1758).

Помимо указанных массовых видов в пляжевых отложениях многочисленны и другие виды, например, *Flexopecten glaber ponticus* (Bucquoy, Dautzenberg & Dollfus, 1889) и *Ostrea edulis* Linnaeus, 1758. Большинство их раковин являются старыми и сильно истёртыми.

По данным исследований 2012–2020 гг. живые особи *F. glaber ponticus* и *O. edulis* не были обнаружены в акватории вблизи Анапской пересыпи. Это связано с кризисом черноморской экосистемы во второй половине XX века. В настоящее время популяция *F. glaber ponticus* в Черном море находится в уязвимом состоянии. Основной причиной считается распространение в популяции этого моллюска раковинной болезни, вызываемой

Ostracoblabe implexa Born & Flahault, а также распространение вселенца *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846). Сопутствующими причинами снижения численности *F. glaber ponticus* в Черном море являются токсикозы, ухудшение гидрохимических, гидробиологических условий обитания, обусловленные эвтрофикацией морских шельфовых акваторий.

Последние исследования свидетельствуют, что современное состояние локальных популяций *R. venosa* следует рассматривать как стабильно угнетенное, большинство популяций представлено большим количеством мелкоразмерных особей. Это является следствием острой нехватки кормовых объектов и высокой степени внутривидовой пищевой конкуренции. Этот фактор существенно способствовал снижению экологического пресса на популяцию *F. glaber ponticus* со стороны *R. venosa*.

В ходе комплексной экспедиции, проведенной на Анапской пересыпи летом 2021 г. в рамках проекта РНФ №20-17-00060, в штормовых выбросах на участке берега длиной 5 км были обнаружены скреплённые створки с сохранившимся лигаментом *F. glaber ponticus* в количестве 5 штук, а также 12 живых особей. Створки были 2 размерных классов, крупные (40–43 мм) и мелкие (28–30 мм). Цвета раковин также отличались, были представлены белые, розовые, оранжевые и коричневые морфы.

Находка живых особей *F. glaber ponticus* означает, что популяция данного моллюска в районе Анапской пересыпи начала постепенно восстанавливаться. Следовательно, можно предположить, что и возобновится пополнение пляжевых отложений со стороны новообразованных раковин *F. glaber ponticus*. В перспективе это увеличит общее количество поступающего на пляжи Анапской пересыпи биогенного карбонатного материала и возможно, изменит соотношение минеральной и биогенной составляющей современных пляжевых отложений. Кроме того, поступление раковин *F. glaber ponticus*, более устойчивых к истиранию по сравнению с раковинами современных массовых видов моллюсков, положительно скажется на общем балансе пляжеобразующих наносов Анапской пересыпи.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В РАЙОНЕ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА

Куринная Ю.С., Орехова Н.А., Гуров К.И., Забегаев И.А.

МГИ, г. Севастополь, Россия
Kurinnaya-jul@yandex.ru

Ключевые слова: Керченский пролив, донные отложения, поровые воды, кислород, органический углерод, полярография.

Антропогенное воздействие на акваторию Керченского пролива существенно отражается на различных составляющих экосистемы пролива и приводит к нарушению природных равновесий, изменению окислительно-восстановительных условий, развитию зон дефицита кислорода в донных отложениях и придонном слое вод, что несомненно сказывается на условиях существования живых организмов.

Биогеохимические процессы в донных отложениях в значительной степени контролируются содержанием органического вещества, и когда скорость поступления его в донные отложения превышает скорость поступления кислорода, создаются условия для развития дефицита кислорода.

На основе комплексного исследования, включающего анализ химического состава поровых вод и геохимических характеристик донных отложений изучены условия формирования донных отложений и факторы, влияющие на окислительно-восстановительные характеристики в них.

Данные были получены в июле и сентябре 2020 г. Всего было отобрано 14 проб поверхностного слоя донных отложений (0–5 см) и 4 колонки. Для получения химического состава поровых вод использовался полярографический метод анализа со стеклянным Au – Hg микроэлектродом. Для определения геохимических характеристик (содержание органического углерода, карбонатность, влажность, гранулометрический состав) использовались стандартные методы.

По результатам проведенных исследований повышенное содержание илистой фракции отмечено в южной и юго-западной

частях Керченского пролива и в центральной части Таманского залива.

Повышенное содержание Сорг было отмечено для проб с преобладанием (> 90 %) илистого материала. Корреляция между концентрацией Сорг и илистой фракции составила 0,76. Такой тип взаимосвязи можно считать «классическим» для морских донных отложений и, в частности, для прибрежных отложений Черного моря.

Анализ вертикального распределения Сорг в донных отложениях показал плавное убывание концентрации с глубиной – в отложениях Таманского залива до 10 см, а в юго-западной части Керченского пролива до 12 см.

Поровые воды юго-западной части Керченского пролива отличались высоким содержанием Fe (II), при этом с глубиной его концентрация снижалась или оно отсутствовало. Сероводород в донных отложениях в этом районе зафиксирован не был. Однако отсутствие растворенного кислорода в поверхностном слое донных отложений указывает на развитие субкислородных условий.

Для центральной части Таманского залива преобладающими компонентами поровых вод были восстановленные форм серы (сероводород). Средняя концентрация сероводорода здесь была выше, чем в кутовой части. Это, вероятно, обусловлено повышенным содержанием Сорг и размером частиц осадка. Меньший размер частиц в центральной части Таманского залива по сравнению с его кутовой частью в большей степени ограничивает поток кислорода в донные отложения. Данный район характеризуется развитием анаэробных условий и появлением сероводорода на поверхности донных отложений.

Таким образом, отмеченные характеристики донных отложений указывают на дефицит кислорода в верхнем слое отложений в районе Керченского пролива.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0005 «Прибрежные исследования», а также при поддержке грантов РФФИ № 20-35-90103 и № 18-05-80028.

МОРСКОЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРОДВИЖЕНИЯ ЧЕРНОМОРСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА

Лаппо А.Д., Данилова Л.В.

ЕрмакСЗ, г. Санкт-Петербург, Россия
info@ermaknw.ru

Ключевые слова: морское пространственное планирование, рациональное морепользование, международное сотрудничество.

Морское пространственное планирование (МПП) за последние 10 лет стало одним из важнейших инструментов продвижения рационального природопользования применительно к морским бассейнам. Опыт полузамкнутых морей, к которым относятся, в частности, Черное и Балтийское, наглядно показывает, что силами одной страны невозможно обеспечить хороший экологический статус больших морских экосистем в условиях всё возрастающей антропогенной нагрузки ни них.

Наиболее отчетливо это проявилось на Балтийском море, где в рамках балтийских международных организаций ХЕЛКОМ и VASAB в 2010 г. была образована совместная рабочая группа по МПП, регулирующая методические подходы и взаимодействие стран при осуществлении национальных морских пространственных планов. На Черном море МПП рассматривается как инструмент обеспечения эффективного Синего роста экономики прибрежных стран через реализацию Стратегической повестки исследований и инноваций (SRIA).

Усиление черноморского взаимодействия, опирающегося на организации Черноморского экономического сотрудничества и Бухарестской конвенции, подкрепляется активной позицией Европейского Союза. С российской стороны в процесс вовлечено Министерство высшего образования и науки. В политическом плане процесс опирается на Совместную морскую повестку, принятую странами в 2019 г.

Закрепление достигнутых соглашений осуществляется через подготовку и реализацию совместных международных проектов по программе Горизонт. Так, проект CSA Black Sea Connect (Coordination of Marine and Maritime Research and Innovation in the Black Sea, 2019-2022) посвящен поддержке Инициативы «Черноморский Синий рост» и разработке Стратегической программы исследований и инноваций в Черном море (SRIA). Стартовавшие в июне 2021г. проекты BRIDGE-BS (Advancing Black Sea Research and Innovation to Co-Develop Blue Growth within Resilient Ecosystems, 2021–2025) и DOORS (Developing Optimal and Open Research Support for the Black Sea, 2021–2025) посвящены продвижению научно-исследовательских направлений исследований и инноваций, определённых в обновленной матрице SRIA.

Во всех этих, как и перспективных, проектах, фокус сделан на действия, обеспечивающие рациональное морепользование, которое направлено на увеличение возможностей использования человеком морских ресурсов и, в то же время, обеспечивает поддержание хорошего экологического статуса морских акваторий. Инструментом обеспечения рационального морепользования является морское пространственное планирование, предусматривающее пространственное распределение антропогенной деятельности.

В странах Европейского Союза внедрение МПП регулируется Директивой о морском пространственном планировании (2014/89/ЕС), обязавшей все страны ЕС к 2021 году разработать когерентные через границы национальные морские пространственные планы.

В России МПП до настоящего времени находится вне правового поля. Исправить это положение возможно путем принятия и реализации Дорожной карты продвижения МПП, разработка проекта которой в настоящее время осуществляется в рамках проекта-платформы Capacity4MSP (2019-2021, программа «Интеррег. Регион Балтийского моря») Институтом ЕРМАК Северо-Запад и Российским государственным гидрометеорологическим университетом, Санкт-Петербург.

МОНИТОРИНГ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА МОРСКИХ УСТЬЕВ РЕК В СССР И В РОССИИ

Лебедева С.В.

Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, г. Архангельск, Россия
ГОИН, г. Москва, Россия
hydrosima@gmail.com

Ключевые слова: устьевая область, гидрологический мониторинг, морские устья рек.

Морские устья рек – специфические природные объекты, занимающие особое место на земной поверхности там, где встречаются воды суши и моря.

Известна большая роль устьев рек как особых экологических систем с повышенной биопродуктивностью, уникальным видовым составом биоценозов и большой степенью уязвимости всей этой природной системы. В устьях рек в частности нерестится большое число ценных пород рыб.

В то же время именно морские устья рек издревле активно осваивались человеком. На обширных дельтовых равнинах человек занимается сельским хозяйством, в морских устьях реки расположены узлы пересечения морских и речных водных путей – строятся морские и речные порты, портовые города, развивается рыбное хозяйство, рекреация, туризм, охота.

Из-за этих двух факторов естественно возникает необходимость не только изучения, но и охраны этих уникальных природных комплексов. Сохранение природного состояния экосистемы в устьевой области во многом лимитирует хозяйственную деятельность на всем речном водосборе.

Гидрологический режим морских устьев рек очень сложен для изучения, мониторинга и анализа. Устьевые процессы изменчивы во времени и пространстве, требуют специальных подходов с учетом речных и морских особенностей объекта. При этом каж-

дая устьевая область уникальна из-за большого разнообразия возможных сочетаний речного и морского гидрологических режимов, а также геоморфологических и геологических особенностей территории.

В СССР по мере увеличения масштабов хозяйственной деятельности и накопления разрозненных гидрологических материалов устьевых наблюдений возникла потребность и идея создания единой системы исследований и мониторинга морских устьев рек, по которой во многих морских устьях рек ЕТР были созданы специализированные устьевые станции.

В задачи станций входил мониторинг гидрологических характеристик в пределах своих устьевых областей, проведение специальных научных работ под методическим руководством научно-прикладных институтов, а также обеспечение гидрометеорологического обоснования водохозяйственных мероприятий, проводящихся на их объекте. Итогом интенсивной работы устьевых станций в 1950–1960-х гг. стало издание серии уникальных региональных монографий, посвященных устьевым областям крупных рек.

Сегодня сеть устьевых станций в большой степени сохранилась. Программы гидрологического мониторинга, по которым они работают в заметной степени сокращены, но тем не менее реализуются. Научно-технические отчеты (НТО) ежегодно формируются и отправляются в Государственный океанографический институт. Таким образом, функция мониторинга в определенной степени сохранена. При этом задачи обеспечения гидрологическим обоснованием прикладных водохозяйственных задач почти не реализуется.

В результате задачи прикладной гидрологии в морских устьях рек часто решаются без учета специфики устьевых процессов и накопленных устьевыми станциями многолетних наблюдений. Связь между продолжающимся мониторингом, научными исследованиями и прикладной сферой очень трудно обнаружить.

Отсюда видится назревшей проблема разработки новой или масштабного обновления системы управления и охраны водных ресурсов в морских устьевых областях, которая бы основывалась

на современных представлениях об охране уникальных природных комплесов в условиях антропогенного воздействия и климатических изменений.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ МОРСКИМ АНТРОПОГЕННЫМ МУСОРОМ ПЛЯЖЕЙ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ 2019–2021 ГГ.

Лобчук О.И., Есюкова Е.Е., Килесо А.В.

ИО РАН, г. Москва, Россия
olga_may87@mail.ru

Ключевые слова: морской прибрежный мусор, антропогенный мусор, метод OSPAR.

Морской мусор – это любой выброшенный или потерянный материал, попавший в морскую среду в результате деятельности человека (Cheshire et al., 2009). Он встречается повсюду в морской среде (UNEP, 2016: GESAMP 2019) и представляет всевозрастающую угрозу для среды обитания во всем мире. Он встречается во всех диапазонах размеров - от коммерческих транспортных контейнеров до пластиковых бутылок, окурков от сигарет, промышленных гранул и вплоть до частиц наноразмера. Пластик, как подавляющая часть антропогенного мусора, находится на поверхности, толще и на дне морей и океанов и на пляжах по всему миру (Matsuguma et al., 2017). Для оценки загрязнения пляжей в Европейском Союзе широко используется стандартизованный метод мониторинга макромусора (> 25 мм) (OSPAR, 2010). Метод OSPAR («невооруженным глазом») применяется на естественных (эталонных) пляжах Северо-Восточной Атлантики (Schulz et al., 2017) и на пляжах Балтийского моря (Balčiūnas и Blažauskas, 2014). Пляжи Калининградской области, как и пляжи всего Балтийского моря загрязнены антропогенным мусором (Haseler et al., 2020). В основном этот мусор состоит из различных видов пластмасс. Наиболее распространенными пластмассами,

являются полиэтилен (PE), полипропилен (PP), вспененный полистирол (пенополистирол) (EPSorPSfoam), поли (винилхлорид) (PVC), полистирол (PS), поли (этилентерефталат) (PET) и полиуретан (PU). Практически все эти виды можно встретить на пляжах Калининградской области.

На протяжении трех лет, с 2019–2021 гг., проводится мониторинг методом OSPAR шести пляжей Калининградской области: Балтийская коса, Балтийск, Янтарный, Пионерский, Зеленоградск и Куршская коса. Метод OSPAR выбран не случайно, он широко используется для пляжей Балтики (Balčiūnas и Blažauskas,2014; Haseler et al., 2017; Schernewski et al., 2018).

По результатам мониторинга анализ показал, что на побережьях Калининградской области число элементов мусора варьировалось от 69 шт./100 м до 1528 шт./100 м.

Исследования проводятся при поддержке РФФИ, грант № 19-45-393006 р_мол_а.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СОСТАВА РАСТИТЕЛЬНОСТИ АБРАЗИОННОГО БЕРЕГА СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАВКАЗА

Лукиных А.И., Крыленко С.В.

МГУ, г. Москва, Россия
krylenkoserg@mail.ru

Ключевые слова: растительные сообщества, клиф, абразионный берег, растительность северо-западного Кавказа, хорологический анализ.

Абразионные берега (клифы) характеризуются сильной неоднородностью пространственной структуры и подвижностью субстрата, вызываемой деятельностью моря. В целом, клифы представляют собой неблагоприятный биотоп для произрастания растений. Однако, растительные сообщества клифов Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа характеризуются высоким видовым разнообразием.

В 2019 г. в рамках проекта РФФИ (Проект №19-05-00716) на участке берега массива Туапхат (Геленджикский район) протяженностью 400 м с береговым обрывом высотой 80–100 м. были проведены полевые исследования видового состава высших сосудистых растений Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа.

Для участка исследований выявлен полный видовой состав, включающий 131 вид сосудистых растений, что составляет 3,5 % флоры всего Российского Кавказа, в том числе 5 Крымско-Новороссийских и 6 Новороссийских эндемиков, а также 6 видов, находящихся в Красной книге РФ. Наибольшим обилием в пределах исследуемого клифа характеризуются представители четырёх семейств: Apiaceae, Fabaceae, Poaceae и Asteraceae. При этом, наибольший вклад в видовое разнообразие внесли представители следующих семейств: Asteraceae (22 вида), Fabaceae (18 видов), Poaceae (13 видов), Lamiaceae (9 видов) и Rosaceae (7 видов). В видовом составе описанного растительного сообщества доминируют *Seseli ponticum, Medicago cretacea, Ptilostemon echinocephalus* и *Matthiola odoratissima,* Видовое богатство крайне неравномерно распределено в пространстве и, в большинстве случаев определяется типом субстрата и его генетическим происхождением. Так на больших по площади пластах без рыхлого субстрата произрастает небольшое число видов, в то время как даже на небольших по площади телах оползней, с рыхлым субстратом количество видов может быть значительно выше.

Результаты хорологического анализа, показали, что большинство обнаруженных видов (49,8 %) имеет Ксерофильный тип ареалов. Наиболее представленный в этом типе является Древнесредиземноморский класс ареалов (22,1 %). Средиземноморский класс (17,6 %) того же типа включает в себя основное количество эндемиков Крымско-Новороссийской провинции. Высока доля видов с бореальным типом ареалов (16,8 %), как следствие пограничного положения данной территории. К Кавказскому типу ареалов (8,4 %) относится большинство местных эндемиков, например, *Sideritis euxina* и *Seseli ponticum*.

Таким образом, растительные сообщества исследованного клифа, характеризуются сложной пространственно-видовой структурой, что определяется сильной неоднородностью биотопических условий, а в их основе преобладают виды средиземноморского элемента, приспособленные к обитанию в сходных условиях.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ «КАРБОНАТОВ УГЛЕВОДОРОДНОГО ПРОСАЧИВАНИЯ» В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ГОРНОГО КРЫМА В ПОЗДНЕЙ ЮРЕ

Лысенко В.И.

Филиал МГУ в г. Севастополе, г. Севастополь, Россия
Niagara_sev@mail.ru

Ключевые слова: метан, метанолиты, прокариоты, геохимия.

Сегодня большое количество научных статей посвящено результатам исследований современных и древних «карбонатов углеводородного просачивания» (hydrocarbon seep-carbonate) на дне океанов и в горных породах. Подобный карбонатный материал был найден автором в обнажениях оксфордских известняков в юго-западной части Горного Крыма. Главными условиями формирования таких карбонатных образований являлись поступление метана из недр и переработка его сообществом прокариот. Поэтому, автор дал такому бактериальному карбонатному материалу название метанолиты оксфорда.

Линзовидные прослои с метанолитами встречаются в средней части разреза оксфордской толщи. Их обломочный материал плавает в цементной массе мраморовидных известняков, которые в текстурном отношении напоминают бетонную смесь. Метанолиты имеют желвакообразную форму и размеры от песчинок до крупного щебня.

Формирование толщ с метанолитами происходило в несколько этапов. На первой стадии в тектонических зонах, к которым приурочены выхода углеводородных флюидов, шло формирование бактериальных карбонатных матов. На процессы бактериального хемосинтеза, создания карбоната и органического вещества, указывают биоморфные текстуры в метанолитах, результаты геохимии и изотопного состава углерода. Образования карбонатных матов происходило на значительных морских глубинах в спокойной динамической обстановке. На высокие скорости их формирования указывают низкие содержания Mn, Ti, V, Zr, Y, Th,

U и РЗЭ. Рядом с постройками в аноксидной среде метана и сероводорода существовали палеобиоценозы крупной фауны за счёт симбиоза с прокариотами.

На глубинность палеофлюидов указывают присутствие в их составе CH_4, C_2H_6, CO_2, H_2S и N_2, значения модулей Страхова и Бострема, соотношения V/Zr, Ni/Co и Y/Ho и изотопный состав углерода.

Следующим этапом был процесс разрушения, переноса и цементации щебнистого материала карбонатных построек в толщу пород оксфорда. Формирование пород с обломочным материалом метанолитов в связано с катастрофическими событиями мгновенного выделения энергии. Такими явлениями были землетрясения, которые сопровождались крупными мгновенными выбросами газа на морском дне.

Последний этап связан с литификацией породы. Её мгновенная цементация связана с пропиткой иловой толщи метаном и с жизнедеятельность сообществами архей и прокариот.

После этого наступает новый цикл образования пород с метанолитами, который контролируется тектоникой.

Палеогеографические условия образования и результаты исследования минералогии, геохимии, изотопного состава и нефтепродуктов метанолитов оксфорда, подтверждают их идентичность с современными и древними «карбонатами углеводородного просачивания».

ПАРТНЕРСТВО НАУКИ И КУЛЬТУРЫ ИЛИ СКОЛЬКО НА ЗЕМЛЕ МОРЕЙ?

Медведева В.Н.

ММО, г. Калининград, Россия
v.stepancova@yandex.ru

Ключевые слова: популяризация научных знаний, музей, мультимедийные приложения.

Партнерство науки и культуры – давняя мировая традиция. Совместная работа сотрудников музеев и ученых – это возможность показать место современной науки в жизни человека и дать

представление об ее основных достижениях, способствовать формированию экологического мировоззрения и пониманию основ морского природопользования (МП) у широкого круга населения. Ведь стратегия рационального МП формулируется соответственно пониманию объекта пользования, что невозможно без масштабной, направленной на разные слои населения и, что немаловажно, простой популяризации отраслей МП. Популяризация науки – это способ вовлечения в процесс познания, в котором используются самые разные форматы и методы общественной коммуникации. Наиболее известные и привычные для нас источники такой информации это – СМИ, интернет и научно-популярная литература. Но многие забывают о музеях. В последнее время перед этой институцией поставлены задачи, реализация которых привела к тому, что она рассматривается как справочная система, как некая особая форма работы в информационном пространстве. Именно музей может выступить той структурой, которая структурирует с помощью логических связей оригинальные «куски» информации из «океана информационного шума». Примером сетевого взаимодействия системы «наука – культура» может служить проектирование музейного комплекса «Планета Океан». Создаваемая экспозиция должна познакомить посетителей с основами океанологии при условии, что часто представить предмет рассказа в экспозиции невозможно. Это в первую очередь относится к вопросам акваторий и крупномасштабных процессов, например, функционированию глобального океанического конвейера. Поэтому требуются особые, нестандартные методы подачи материала: эксперименты, интерактивные объекты, электронные энциклопедии и справочники. Коллективом музея уже реализовано несколько крупномасштабных проектов данного типа, признанных мировым музейным сообществом, например, приложение «Вертикальное распределение характеристик вод Мирового океана». Оно представляет собой интерактивный обучающий электронный атлас, основанный на данных международной программы океанологических исследований WOCE. Предлагаемое приложение является первым этапом в разработке многофункциональной обучающей системы, вместе с которой гости музея смогут понять, что же такое Мировой океан.

Другой проект, который на данном этапе является единственным в своем роде, электронная энциклопедия-путеводитель «5 океанов и 92 моря?». Это информационная система, в которой собраны материалы обо всех морях и океанах нашей планеты. Ее структура основывается на часто задаваемых посетителями вопросах: что такое море; сколько океанов и морей на планете, кто их выделяет и чем они отличаются; какое море самое теплое, мелкое, грязное, соленое и т. д. В результате работы было подготовлено приложение, основанное на описании 108 акваторий (история названия, местоположение, площадь, объем, глубины, климат, характерные отличия акватории, гидрологический режим, хозяйственное использование, проблемы и т. д.) и «расставляющее» в памяти человека своего рода маркеры относительно каждой из них, формируя их неповторимый лик.

Такого рода подача материала, где отражены все сферы взаимодействия Мирового океана и Человечества, раскрыты фундаментальные основы функционирования системы, – инструмент для познания научных законов и возможность вывести морское природопользование на новый уровень познания.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ВЕРТИКАЛЬНОМ РАЗРЕЗЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ГДАНЬСКОЙ ВПАДИНЫ

Михневич Г.С.[1], Крек А.В.[2], Данченков А.Р.[2], Кречик В.А.[2]

[1]*БФУ им. И. Канта, г. Калининград, Россия*
[2]*ИО РАН, г. Москва, Россия*
mi78galina@mail.ru

Ключевые слова: тяжелые металлы, микроэлементы, донные осадки, Гданьская впадина.

Как правило, результаты исследований указывают на явное увеличение содержания микроэлементов в поверхностном слое

донных отложений Балтики. Обогащение осадков тяжелыми металлами (микроэлементами) и другими химическими компонентами может быть результатом их естественных геохимических свойств или антропогенного воздействия.

Цель работы — провести анализ распределения некоторых микроэлементов в вертикальном разрезе четырех колонок, отобранных в Гданьской впадине и выявить следы антропогенного влияния. Колонки длиной от 52 до 81 см отбирались на глубинах ниже пикноклина (от 76 до 110 м) в 35 и 37 рейсах НИС «Академик Николай Страхов».

Проведенный иерархический кластерный анализ всей выборки данных позволил выявить обособленную группу элементов, включающую Pb, Zn, Cd и Cu. Накопление этих элементов характерно для слоя 0–22 см, образование которого совпадает со временем индустриализации (110–220 лет при средней скорости осадконакопления 1–2 мм/год). Сильное антропогенное вмешательство в природную среду привело к установлению здесь явных взаимосвязей между Pb, Zn, Cd и Cu. Ниже слоя 0–22 см картина распределения элементов иная, а группа элементов Pb, Zn, Cd и Cu имеет родство с Fe, что указывает на их природное происхождение.

По характеру вертикального распределения микроэлементов четко выделяется группа элементов (Cu, Cd, Zn, Pb), характеризующаяся увеличением их содержания в верхней части колонок: значение медианы для интервала 0–22 см превосходит как медианные значения для более глубокой части колонки, так и для всей колонки. Например, максимальные значения Cu во всех колонках фиксировались в интервале от 1 до 7 см, Cd – от 1 до 12 см, Zn – от 10 до 23 см, Pb – от 6 до 13 см.

Для второй группы элементов увеличение концентрации может происходить не только в верхней части колонки, но и глубже. Медианные значения концентраций Cr, As, Ni и Co (в меньшей степени) для горизонта 0–22 см преимущественно уступают медиане более глубокой части колонки. Это означает, что доиндустриальный максимум более значителен, нежели приповерхностный. Абсолютные максимальные значения Co приходятся на различные горизонты, расположенные в интервале от 3 до 53 см, Ni – от 32 до 70 см, Cr – от 33 до 55 см.

Обособленным выглядит распределение As: максимально содержание As в интервале от 0 до 15 см. Увеличение концентрации As происходит с глубины 11–14 см с концентрации 13–19 мг/кг. Максимальные значения достигаются на горизонте 0-2 см (до 25–68 мг/кг). Фоновые концентрации на глубинах 20-50 см составляют около 20 мг/кг. As чувствителен к изменениям окислительно-восстановительного потенциала, и это является причиной значительных его изменений в вертикальном разрезе, включая повышенные значения в нижних частях колонок, однако влияние процесса антропогенного загрязнения также очевидно.

В придонном горизонте осадочной толщи (интервал 0–2 см) в значительном количестве случаев фиксируется уменьшение концентраций элементов (кроме As), связываемое со снижением антропогенной нагрузки на бассейн Балтийского моря в последние 30–40 лет.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта №19-45-390007.

МЕТАБОЛИТЫ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ДЛЯ БОРЬБЫ С БАКТЕРИАЛЬНЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Огнистая А.В.

ДВФУ, г. Владивосток, Россия
alya_lokshina@mail.ru

Ключевые слова: морские микроводоросли, метаболиты, бактериальное загрязнение, Японское море, антимикробная активность.

Активная деятельность человека в прибрежных акваториях морей способствует чрезмерному поступлению биогенных элементов, повышению температуры, разрушению берегов, эвтрофированию и т. д. Огромное количество загрязнений попадает в

море в виде сбросов неочищенных фекальных стоков, отходов с предприятий и водного транспорта. Многие из этих факторов стимулируют развитие чужеродных микроорганизмов. Условно-патогенные и патогенные бактерии активно локализуются в сублиторальных зонах, что ведет к негативным последствиям для населения – вспышки гастроэнтеритов, конъюнктивитов, внешних отитов, поражение кожных покровов и др.

В настоящее время проблема, связанная с бактериальным загрязнением прибрежных зон Японского моря, является актуальной. Пути появления патогенов в акваториях — это транспортировка их с балластными водами и занос с коммунально-бытовыми стоками. Санитарно-показательными микроорганизмами в эксперименте выступали бактерии рода Enterococcus – Hafnia, Enterobacter, Salmonella, Shigella. Высокая выживаемость этих прокариот в морской воде делает их потенциально опасными. В результате нашей работы выявлены виды морских микроводорослей, метаболиты которых способны ингибировать рост энтеробактерий, выделенных из прибрежных районов Японского моря, представляющих угрозу для человека и животных. Микроводоросли, сработавшие в качестве противомикробных агентов, принадлежат к разным систематическим группам. Чаще всего это представители – Dinoflagellata. Рассмотрены разные способы извлечения биоактивных веществ из альгокультур. Наилучший результат обнаружен при использовании чистой смеси биоактивных элементов в сравнении с разными методами экстракции. Представлено несколько способов определения противомикробных свойств у одноклеточных водорослей. В перспективе важно понимать, какие именно виды и/или соединения из микроводорослей будут эффективны в борьбе с условно-патогенными бактериями в прибрежных зонах Японского моря. Подробное изучение биоактивности будет проводиться в следующих экспериментах с помощью современных химических методов.

БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ 2016–2019 ГГ.

Орехова Н.А., Вареник А.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия
natalia.orekhova@mhi-ras.ru

Ключевые слова: биогенные элементы, Черное море, фосфаты, кремнекислота, нитраты, аммоний.

В виду исключительного географического положения и особенностей структуры водной толщи Черное море является предметом повышенного внимания и активных исследований, как фундаментального, так и прикладного характера. Одной из ключевых характеристик для оценки качества вод и устойчивости морских экосистем является концентрация биогенных элементов, избыток которых может оказывать разрушительное воздействие на морскую среду, приводя к эвтрофикации, гипоксии и аноксии, вспышкам цветения водорослей, гибели водорослей и кораллов, а также сокращению популяций рыб и моллюсков.

В работе рассмотрены распределение и динамика биогенных элементов в поверхностном слое вод Черного моря по данным, полученным в 2016–2019 гг. в различные гидрологические сезоны в ходе экспедиционных исследований на НИС «Профессор Водяницкий».

Концентрация биогенных элементов определялась комбинацией физических и биолого-химических процессов, и выделить отдельно вклад каждого достаточно сложно. Режим биогенных элементов в верхнем слое вод Черного моря подвержен закономерной внутригодовой изменчивости – в зимний период происходит их накопление за счет выноса из подстилающих слоев вод и минимального их потребления. При переходе от зимнего к весеннему периоду по мере накопления биогенных элементов создаются условия для фотосинтеза. К концу весеннего и началу летнего периода происходит снижение концентрации биогенных

элементов за счет их извлечения фитопланктоном при фотосинтезе, а также за счет ослабления интенсивности вертикальной конвекции, и к середине летнего периода наблюдается их минимальное содержание. Отмечено некоторое запаздывание в изменении концентрации кремнекислоты – в первую очередь фитопланктоном извлекаются соединения азота и фосфора, при этом происходит накопление кремнекислоты. В осенний период концентрация биогенных элементов возрастает за счет минерализации органического вещества и процессов вертикальной конвекции. К середине осеннего периода накапливается достаточное количество биогенных элементов, что создает предпосылки для второго пика цветения фитопланктона, но менее интенсивного, по сравнению с весенним максимумом. К декабрю наблюдается снижение концентрации биогенных элементов.

Пространственное распределение биогенных элементов определялось преимущественно динамикой вод в глубоководной части моря. В прибрежной его части добавляется вклад антропогенного фактора – речной и терригенный стоки.

В межгодовой динамике биогенных элементов в период с 2015 по 2019 гг. отмечены тренды снижения концентрации окисленных форм азота, увеличения концентрации фосфора, и отсутствие видимых изменений концентрации кремнекислоты и ионов аммония. При этом концентрации всех перечисленных биогенных элементов были значительно ниже, чем в 2009–2014 гг., что, вероятно, можно объяснить уменьшением уровня загрязнения, связанного со снижением объема промышленного производства и использованием экологических технологий. Снижение доли вклада ионов аммония в суммарный неорганический азот может указывать на снижение потока органического вещества в целом. Таким образом, можно отметить снижение уровня эвтрофикации и улучшение качества вод Черного моря. Однако в прибрежных районах по-прежнему остается высоким вклад антропогенного фактора.

Работа выполнена в рамках темы гос.задания ФГБУН ФИЦ МГИ № 0555-2021-0004.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ МОРСКОЙ БЕРЕГОВОЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СЕТИ: ПЕРСПЕКТИВЫ, ЗАДАЧИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Остроумов Л.В., Остроумов М.В.

ГОИН, г. Москва, Россия
ostleonid@yandex.ru

Ключевые слова: морская сеть, морские наблюдения, автоматизированные средства измерений, уровнемер, буй, датчики температуры и солености.

Вот уже более века на государственной морской береговой наблюдательной сети проводят систематические стандартные наблюдения за основными параметрами морской среды в прибрежных и устьевых районах океанов и морей. К таким параметрам относится уровень моря, температура, соленость морской воды, элементы волнения и другие. В работу морской береговой наблюдательной сети были заложены принципы глобальности, непрерывности, однородности и сопоставимости наблюдений, а также единства методов и средств измерений.

Наблюдения на государственной морской береговой наблюдательной проводились и преимущественно проводятся в настоящее время с использованием единых классических (стандартных) методов и средств измерений. К классическим методам и средствам измерений относится, например, уровенная рейка ГМ-3, термометр ТМ-10 и т.д. Классические методы и средства наблюдений отработаны на практике, а их надежность проверена временем.

В своём современном состоянии морская государственная наблюдательная сеть находится на пороге глубокой модернизации, включающей внедрение новых технологических и технических принципов организации и проведения наблюдений, сбора и передачи данных. В основу данной модернизации заложено внедрение в практику морских береговых наблюдений современных

автоматизированных средств измерений (далее – АСИ). Несмотря на множество очевидных плюсов, широкомасштабная замена классических средств измерений на АСИ, в совокупности с изменением методик проведения наблюдений, с большой долей вероятности может привести к нарушению непрерывности, однородности и сопоставимости рядов наблюдаемых величин.

Предварительный сравнительный анализ результатов наблюдений с использованием АСИ и классических средств измерений показал, что АСИ не всегда обеспечивают в полной мере высокое качество наблюдений. Имеются и положительные примеры работы АСИ уровня моря.

Еще одним фактором, который оказывает влияние на возможность использования АСИ, является технология установки самих измерительных датчиков. Например, фиксированный способ крепления датчика температуры и солености морской воды, по сути механическим образом скопированный со способа установки гидростатических датчиков уровня моря, не позволяет осуществлять наблюдения в поверхностном слое морской воды, особенно в приливных и замерзающих морях. Одним из решений может быть заякоренный буй ледового класса с установленными на нём автоматическими датчиками температуры и солености.

Говоря об автоматизации морской береговой сети, можно с уверенностью говорить, что система морских наблюдений выходит на новый качественный уровень. Ещё предстоит решить ряд технических, технологических и организационных вопросов. Получить драгоценный опыт использования автоматизированных средств измерений, основанный, в том числе, на пробах и ошибках. Важно действовать последовательно и не допускать бесконтрольной и бессистемной автоматизации, чтобы избежать деградации системы морских наблюдений. Ведь главным всегда должна оставаться цель – получение непрерывной и достоверной информации о состоянии Мирового Океана.

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРИЛИВНЫХ УЧАСТКОВ МАЛЫХ РЕК БАССЕЙНА БЕЛОГО МОРЯ

Панченко Е.Д., Алабян А.М.

МГУ, г. Москва, Россия
panchenko.zhe@yandex.ru

Ключевые слова: гидравлическое сопротивление, устьевой участок, приливный цикл, Белое море, Сёмжа, Кянда.

Коэффициенты гидравлического сопротивления являются основными параметрами одномерных гидродинамических моделей, математической основой которых являются уравнения неустановившегося движения воды Сен-Венана. Применение одномерной схематизации целесообразно при исследовании распространения длинных волн морского генезиса (приливы, нагоны, цунами) вверх по руслам рек, если протяженность исследуемого приливного участка на порядки превышает его ширину и глубину.

Фактическую величину гидравлического сопротивления и диапазон изменения его значений в течение приливного цикла можно рассчитать на основе результатов одновременных измерений расходов, уровней и солености воды в двух створах на устьевом участке реки. Выполнение серии измерений, охватывающих полный приливный цикл, позволяет непосредственно проследить ход геометрического уклона водной поверхности и рассчитать значения плотностного и инерционных членов уравнения движения. Гидравлическое сопротивление выражается из уклона трения, который вычисляется вычитанием из геометрического уклона остальных членов уравнения движения.

Такие измерения и расчеты были проведены в 2017–2019 гг. для приливных участков с реверсивным движением вод двух малых рек Сёмжи и Кянды, относящихся к бассейну Белого моря. Кянда впадает в Онежский залив, величина прилива в ее устьевом створе составляет 2–2,5 м, приливные колебания уровня воды распространяются на 10 км, что составляет около 20 % длины реки. Сёмжа впадает в эстуарий Мезени, и приливная волна в ее

устье достигает 8–9 м, распространяясь в межень на 21 км (треть длины реки). Ввиду малой ширины рек (50–100 м) и использования акустического доплеровского профилографа удалось производить быстрые измерения расходов воды с дискретностью раз в 10–30 минут на протяжении 12,5-часового полусуточного приливного цикла.

Для выражения гидравлического сопротивления наиболее распространенными параметрами являются коэффициент Шези и коэффициент шероховатости Маннинга, реже – коэффициента гидравлического сопротивления Дарси-Вейсбаха («лямбда»). В выражении для расчета уклона трения последний фигурирует в первой степени (в отличие от первых двух, которые возводятся в квадрат), что предопределяет возможность получения им как положительных, так и отрицательных значений в случае, если скорость течения и уклон трения имеют разные знаки.

Анализ результатов расчетов показал, что во время квазиустановившегося движения на приливе и отливе коэффициент гидравлического сопротивления Дарси-Вейсбаха находится в диапазоне значений 0,05–0,15, характерном для «обычных» (неприливных) участков рек. Однако в моменты времени, близкие к развороту течения, в обеих реках он изменялся на несколько порядков: на Кянде от -8,4 до 44, на Сёмже – от -0,1 до 2,5. При этом максимальные значения отмечались перед разворотом течений, когда происходила «аккумуляция» энергии поступательного движения воды путем перехода ее в энергию низкочастотных пульсаций. После разворота течения происходил ее резкий «сброс» – обратный переход кинетической энергии от пульсационного движения к осредненному, что иллюстрируется уменьшением коэффициента гидравлического сопротивления Дарси-Вейсбаха вплоть до отрицательных значений (что теоретически возможно в случае, когда поступательному движению возвращается большая часть энергии пульсаций по сравнению с диссипируемой в тепло).

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект 19-35-90032).

АНАЛИЗ ЛАНДШАФТООБРАЗУЮЩЕЙ РОЛИ КОМПОНЕНТОВ ПРИРОДЫ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ И НА ШЕЛЬФЕ

Петров К.М.

СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
k.petrov@spbu.ru

Ключевые слова: программа исследований, ландшафтообразующее значение, компоненты природы, береговая зона, шельф.

Предлагается программа камеральных и экспедиционных исследований, направленная на анализ ландшафтообразующего значения компонентов природы береговой зоны и шельфа. Успешное выполнение программы предполагает решение следующих задач.

Выявить особенности тектонического строения и характер дифференцированного новейшего развития структур. Отметить морфоструктуры, определяющие рельеф побережья, размер и форму морского бассейна. Показать линии активных новейших дислокаций, влияющих на формирование берегов продольного и поперечного типа.

Раскрыть влияние колебаний уровня Мирового океана и внутренних морей России в плейстоцене и голоцене на формирование современного рельефа береговой зоны и шельфа. Определить элементы рельефа берегов и подводного берегового склона абразионного типа. Охарактеризовать особенности биотопа скал и камней и связанных с ним жизненных форм гидробионтов. Определить элементы рельефа берегов и подводного берегового склона аккумулятивного типа. Отметить роль волновых процессов в сортировке наносов на подводном склоне, а также вдоль берегового потока наносов в формировании подводных береговых валов и других форм аккумулятивного рельефа. Охарактеризовать особенности биотопов подвижных песчаных наносов и песчано-илистых аккумулятивных равнин и связанных с ними жизненных форм гидробионтов.

На основе изменения природных условий по широте и глубине обосновать систему единиц географической зональности и вертикальной поясности. Оценить экологическую роль гидрологических условий в районе исследований. Определить место акватории в системе географических зон мирового Океана и единиц вертикальной поясности. Установить соленость морских вод, выделить солоновато-водные акватории с соленостью ниже границы Книповича. Отметить глубину слоя скачка и ее сезонные изменения. Изучить морские течения, отметив места апвелинга и даунвелинга. Определить местный режим приливов и отливов.

Осуществить комплексное изучение береговой зоны и шельфа, используя современные методы дистанционного зондирования, морских и подводных исследований. Опираясь на морфоструктурные, геоморфологические и гидрологические особенности провести границы подводных ландшафтов. Картировать морфологическую структуру подводных ландшафтов. Охарактеризовать подводные угодья и фации-доминанты. Отметить их положение в системе единиц вертикального подразделения морского дна.

Осуществить ландшафтное районирование береговой зоны и шельфа. Определить место изученных ландшафтов в трехрядной системе единиц – зональных, вертикальных и азональных.

АНАЛИЗ СВЯЗИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАВАЮЩЕГО МОРСКОГО МУСОРА С ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ РОССИИ В ОКТЯБРЕ 2020 Г.

Погожева М.П.[1,2], Якушев Е.В.[1,3]

[1]ИО РАН, г. Москва, Россия
[2]ГОИН, Росгидромет, г. Москва, Россия
[3]NIVA, г. Осло, Норвегия
pogojeva_maria@mail.ru

Ключевые слова: загрязнение морских вод, морской мусор, Арктика.

Под плавающим морским мусором понимают относительно крупноразмерную фракцию (> 2,5 см) материала антропогенного происхождения, который может переноситься на большие расстояния течениями, ветром и волнами. Под плавающим морским мусором подразумевают прежде всего пластиковый мусор, который чрезвычайно медленно разлагается по сравнению с мусором из природных материалов. Он представляет прямую угрозу для морских обитателей и впоследствии разлагается на микропластик (<5 мм). В настоящее время мировая общественность воспринимает плавающий морской мусор как одну из основных проблем загрязнения Мирового океана. Мусор поступает в морскую среду из многочисленных источников на суше и на море. Помимо прямых угроз для морских обитателей, связанных, в основном, с заглатыванием мусора или запутывания в нем, морской мусор может быть и химическим загрязнителем при выделении из него опасных загрязняющих веществ, он может служить транспортом для перемещения инвазивных видов, представлять опасность для навигации, а также портить эстетическую привлекательность морских объектов, нанося существенный урон туристической индустрии. Мусор может опускаться на дно, выноситься на пляжи и береговые линии или разлагаться на микропластик, но большая его часть может оставаться плавающей на поверхности моря в течение длительных периодов времени и переноситься на большие расстояния. Северный Ледовитый океан представляет собой уязвимую среду с уникальной экосистемой, которая подвергается возрастающему давлению из-за изменения климата, влекущего за собой сокращение ледяного покрова и увеличение антропогенной нагрузки. В настоящее время данные о морском мусоре в Арктическом регионе крайне скудны и не позволяют оценить пути распространения и источники его поступления. Такая информация необходима для реализации мер по уменьшению загрязнения морской среды.

Основными целями этой работы были сбор новых данных о плавающем морском мусоре и естественных плавающих объектах, предварительная оценка уровня загрязнения мусором и анализ потенциальных источников поступления. Работы были проведены в 82-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в сентябре-ноябре 2020 г. в Белом, Баренцевом, Карском, Лаптевых и

Восточно-Сибирском морях. Результаты этого исследования представляют первые данные о распределении плавающего морского мусора в морях российской Арктики в зависимости от океанографических условий (положения водных масс разного происхождения, описываемых характерной температурой, соленостью, растворенным кислородом и pH). Главный вывод этого исследования состоит в том, что плавающий морской мусор был обнаружен только в воде атлантического происхождения, поступающей из Баренцева моря, где средняя плотность на наблюдаемых трансектах составляла 0,92 частиц/км^2. Восточные части исследования, Карское море, море Лаптевых и Восточно-Сибирское море были практически свободны от плавающих объектов. Поступление с водами рек представляется незначительным, по крайней мере, в осенний период.

Работа частично финансировалась проектом Министерства климата и окружающей среды Норвегии RUS-19/0001 «Создание регионального потенциала для измерения и моделирования распределения и поступления микропластика в Баренцево море из рек и течений (ESCIMO)» и Российским фондом Фундаментальные исследования, исследовательские проекты 19-55-80004.

ГРАДАЦИИ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ СОСТАВЛЯЮЩИХ РИСКОВ АРКТИЧЕСКОГО БЕРЕГОВОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Румянцева Е.А.[1], Гогоберидзе Г.Г.[1], Шилин М.Б.[2]

[1]МАГУ, г. Мурманск, Россия
[2]СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
gogoberidze.gg@gmail.com

Ключевые слова: риски берегового природопользования, классификационные признаки, градации, Арктика.

Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) и ее береговая зона подвергаются усиливающемуся антропогенному и техногенному воздействию наряду с глобальными климатическими

изменениями. Это приводит к существенному росту природных и техногенных рисков природопользования. Авторами была предложена классификационная система, определяющая виды, источники, сферы действия и пространственный масштаб составляющих рисков арктического берегового природопользования. В данном исследовании, базируясь на последовательности риск-источник – риск-фактор – риск-объект, рассмотрены классификационные признаки и градации воздействий составляющих риска на элементы арктических береговых эко-социо-экономических систем.

Риск-источник рассмотрен по трем классификационным признакам:

– непосредственный источник проявления риска (природные, климатические, техногенные, социально-экономические);

– степень управляемости по снижению рисков (управляемые, ограниченно управляемые, неуправляемые);

– непосредственное отношение к береговой эко-социо-экономической системе (внутрисистемные, внешние).

Риск-фактор рассмотрен по четырем классификационным признакам:

– пространственный масштаб проявления (локальные, местные, региональные, глобальные);

– временной масштаб воздействия (краткосрочные, среднесрочные, долгосрочные);

– степень прогнозируемости (прогнозируемые, частично прогнозируемые, непрогнозируемые);

– частота возникновения (единичные, редкие, регулярные, частые).

Риск-объект рассмотрен по пяти классификационным признакам:

– непосредственный объект (реципиент) риска (социальные, производственные (экономические), экологические);

– количество объектов (рецепиентов) риска (единичные, лимитированные, частые);

– возможность индуцирования последовательной цепочки рисков (высокая, средняя (невысокая), низкая);

– степень (стадии) индуцированности в цепочке рисков (первичные, вторичные);

– размер (тяжесть) ущерба и последствий реализации события (незначительные, существенные, значительные, катастрофические).

Рассмотренные классификационные признаки и градации составляющих риска, видов и степени их воздействия на элементы арктических береговых эко-социо-экономических систем важны для учета при оценке интегрального показателя риска для территориального объекта береговой системы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00312.

К ВОПРОСУ О РАЦИОНАЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕКРЕАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ МОРСКИХ ПОБЕРЕЖИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Санин А.Ю.

ГОИН, Росгидромет, Москва, Россия.
eather86@mail.ru

Ключевые слова: рекреация, морские берега, туристические потоки, неблагоприятные и опасные явления природы, абразия, природные ландшафты, экологический туризм.

Традиционно морские побережья – если принимать во внимание и ресурсы моря, и ресурсы суши – рассматриваются как источник в первую очередь биологических и минеральных ресурсов, к последним относится прежде всего газ и нефть на некоторых участках шельфа, а также песок, галька и прочие отложения, которые используются в качестве строительных материалов, и встречаются практически повсеместно (про них следует помнить, что их использование может оказывать негативное влияние на динамику берегов).

Однако в последнее время все большее значение приобретают иные ресурсы, связанные с морскими побережьями, среди которых можно назвать и рекреационные. Степень их выраженности сильно отличается от побережья к побережью, тем самым обуславливая различную их привлекательность для отдыха и разный набор видов рекреации, потенциально возможных на том или ином участке берега. Наибольшую важность имеют приморские территории с теплым климатом, наиболее популярные среди туристов (особенно в случае наличия транспортной и рекреационной инфраструктуры) – именно их рекреационные ресурсы необходимо использовать максимально бережно и рационально. К таким регионам в России относится Крым, прочие берега Черного и Азовского моря, прибрежная зона Каспийского моря, в меньшей степени – Балтийского моря, а также берега южной части Приморского края. Их привлекательность для туризма обуславливает сравнительно мощные туристические потоки на эти берега, что, в свою очередь, влечет развитие рекреационной, транспортной и иной инфраструктуры, и приводит к усилению воздействия человека на природные ландшафты. Можно выделить следующие негативные последствия этого воздействия:

1. Активизация неблагоприятных и опасных явлений природы, например, линейной эрозии, абразионных и склоновых процессов, которые часто провоцируются человеком. В частности, оползни активизируется после так называемой подрезки склонов в ходе строительных работ на них, абразионные процессы - после изъятия грунта из береговой зоны, а сведение древесной растительности провоцирует линейную эрозию.

2. Снижение эстетического потенциала ландшафтов прибрежной зоны, в частности, вследствие их застройки - «т.н. визуальное загрязнение», ведь часто строения не «вписывается» в ландшафты; а также из-за появления стихийных свалок мусора и т.д.

3. Антропогенная трансформация природных ландшафтов, снижение их устойчивости. Снижение биоразнообразия, ослабления экологического каркаса территории, исчезновение многих видов растений и животных или сокращение их численности.

Для рационального использования рекреационных ресурсов приморских территорий рекомендуется:

1. Перераспределение туристических потоков в пространстве и времени. Равномерное распределение рекреантов по морским побережьям позволит снизить нагрузку на природные ландшафты без уменьшения туристического потока.

2. Развитие «щадящих» видов туризма, например, экологического. Снижение численности рекреантов может негативно сказаться как на самих туристах, так и на экономике рекреационных регионов, а развитие таких видов туризма позволит снизить антропогенную нагрузку на природные ландшафты без уменьшения численности рекреантов.

3. Учет неорганизованной рекреации. В большинстве рекреационных приморских регионов России развита так организованная, так и самостоятельная, или неорганизованная рекреация. Самостоятельных туристов учитывать заметно сложнее, но это необходимо для оценки антропогенного воздействия на природные ландшафты.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ В 2020 Г.

Светашева Д.Р. [1], Стольникова Н.В. [1], Кузин А.В.[2]

[1]«Каспийский морской научно-исследовательский центр», г. Астрахань, Россия
[2]«ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть», г. Астрахань, Россия
svetashevadr@yandex.ru

Ключевые слова: Северный Каспий, нефтяные углеводороды, экологический мониторинг, источники загрязнения углеводородами.

Многообразие источников загрязнения морской среды нефтяными углеводородами (НУ) ставит в ряд первоочередных задачу идентификации нефтяного загрязнения при планировании природоохранных мероприятий. Значительный вклад в загрязнение морских экосистем НУ вносят природные источники, к которым

относят биосинтез и распад сложных органических соединений природного происхождения, а также выход флюидов из геологических разломов земной коры, так называемые «высачивания» нефти.

Для определения степени влияния пирогенных источников используется соотношение «антропогенных» (пирен (П) + бенз(а)пирен (БП)) к «природным» (фенантрен (Ф) + хризен (Х)) полиароматических углеводородов (ПАУ). Соотношение между «антропогенными» и «природными» ПАУ, преобладание соединений алкильных групп указывает на преимущественно естественное происхождение аренов. С помощью хроматографии, зная углеводородный состав смеси НУ, можно сказать, к каким именно нефтепродуктам относится данное загрязнение, что позволяет выявить источник загрязнения. Для установления их происхождения эффективно использование соотношений определенных гомологов, маркирующих их состав, например, отношений концентраций фенантрена и антрацена или флуорантена и пирена. К примеру, величина соотношения концентраций фенантрена (Ф) и антрацена (А) >10 указывает на присутствие петрогенных ПАУ и интенсивный диагенез. Соотношение концентраций нафталина (Н) и фенантрена >1 означает новое поступление не выветренных НП.

По результатам производственного экологического мониторинга на лицензионных участках ООО «ЛУКОЙЛ» весной и осенью 2020 г. проведены исследования ПАУ в составе смеси углеводородов.

Содержание пирена в 2020 г. было ниже предела обнаружения аналитическим методом. Бенз(а)пирен регистрировался только в поверхностном горизонте в весенний период (0,00003 мкг/л). Значения фенантрена весной увеличивалось с глубиной от 0,006 до 0,007 мкг/л, а осенью, наоборот, уменьшалось от 0,006 до 0,005 мкг/л. Количество хризена в 2020 г. не превышало порога чувствительности метода количественного химического анализа. Антрацен зафиксирован только в поверхностном горизонте, весной и осенью составив 0,003 и 0,002 мкг/л соответственно. Концентрация нафталина весной в поверхностном слое составила 0,03 мкг/л, в придонном – 0,04 мкг/л, в осенний период с глубиной изменялась от 0,01 до 0,04 мкг/л.

Отношение суммы пирена и бенз(а)пирена к сумме фенантрена и хризена, не превышавшее единицу (от 0 до 0,005), говорит о преимущественном вкладе природных источников в загрязнение морской среды весной и осенью. Соотношение концентраций фенантрена (Ф) и антрацена (А) (Ф/А=186) весной в поверхностном слое свидетельствует об активном поступлении НУ из горных пород и преобразовании рыхлых осадков. Осенью данные процессы замедляются (Ф/А=3,1). В 2020 г. стабильное соотношение Н/Ф >1 свидетельствует о постоянном поступлении «свежих» НУ. Однако если в весенний период в поверхностном и придонном горизонте этот показатель находится на одном уровне (Н/Ф=6,1-6,7), то осенью поступление «свежих» НУ в придонный слой (Н/Ф=8,2) происходит интенсивнее, чем в поверхностном (Н/Ф=2,1).

ИЗОТОПЫ РАДИЯ И БИОГЕННЫЕ ВЕЩЕСТВА В ЭСТУАРИИ Р. РАЗДОЛЬНОЙ (АМУРСКИЙ ЗАЛИВ, ЯПОНСКОЕ МОРЕ) В ПЕРИОД ЛЕТНЕГО ПАВОДКА

Семкин П.Ю., Тищенко П.Я., Чаркин А.Н., Павлова Г.Ю., Анисимова Е.В., Барабанщиков Ю.А., Тищенко П.П., Швецова М.Г.

ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
pahno@list.ru

Ключевые слова: эстуарий, радионуклиды: ^{223}Ra, ^{224}Ra, ^{228}Ra, биогенные вещества, динамика вод.

Набор изотопов ^{224}Ra, ^{223}Ra, ^{228}Ra ^{226}Ra, с периодом полураспада 3,6 и 11,5 суток, 5,7 и 1600 лет соответственно позволяет устанавливать временные масштабы биогеохимических процессов в прибрежно-морских акваториях под влиянием речного стока, обмена поровых вод и разгрузки грунтовых вод. Поэтому цель данной работы – выявить доминирующие источники и изучить распределение изотопов радия совместно с биогенными веществами в эстуарии реки Раздольной в паводковый режим.

Трансграничная река Раздольная (Китай – Приморский край РФ) впадает в северную часть Амурского залива, который расположен в северо-западной части Японского моря. Средний расход реки за период с 2008 по 2018 – 97,8 $м^3/с$. В водном режиме р. Раздольной выделяется устойчивая зимняя межень со среднемесячным расходом в феврале – 3 $м^3/с$. Максимумы расхода наблюдаются в период паводков летом и осенью, превышая 3000 $м^3/с$ в отдельные годы.

С 29 июня по 1 июля 2020 г. были отобраны пробы воды с придонного и поверхностного горизонтов в эстуарии при расходе реки 400 $м^3/с$. С использованием системы задержанных совпадений (RaDeCC, USA) проведены измерения растворенных изотопов радия. Биогенные вещества определяли колориметрическим методом. Соленость измеряли на солемере Guildline Autosal 8400B (Guildline Instruments, USA). Для получения профилей температуры, солености, мутности, освещенности и кислорода на каждой станции использовали профилограф SBE 19 plus (Sea-bird Electronics, USA) и оптический датчик кислорода ARO2-Infinity (JFE Advantech Co., Ltd., Japan).

Концентрация взвеси в реке была более 1000 мг/л. Установлена прямая корреляция ^{228}Ra с мутностью вод. Максимальная активность ^{228}Ra – 163±0,03 dpm 100 L^{-1} наблюдалась в районе устьевого бара при солености 13,2 ‰, а минимальная активность – 40±0,03 dpm 100 L^{-1} в придонных водах приемного бассейна с соленостью 32,8 ‰. Поэтому поступление ^{228}Ra вероятно связано с десорбцией из взвешенного материала, поставляемого рекой. Зависимость активности ^{223}Ra и ^{224}Ra от мутности не наблюдалась. Установлено, что основным источником радионуклидов ^{224}Ra являются донные осадки. Зависимость “фосфаты – ^{224}Ra” и «аммоний – ^{224}Ra» демонстрирует одновременный рост ^{224}Ra и биогенных веществ в придонных водах вдоль зоны смешения. В водах с максимальной активностью ^{224}Ra (65.41±0.68 dpm 100 L^{-1}) обнаружена максимальная концентрация аммония (8,01 мкмоль/л) при концентрации в реке около 2,5 мкмоль/л и фосфатов – 1,9 мкмоль/л при аналогичной концентрации в реке. Распределение плотности показывает существование компенсационного потока придонных вод с глубины 20 метров до глубины 8 метров. Этот поток формируется в безветрие за счет эффекта

вовлечения стоковым течением на пике паводка. В компенсационном потоке по мере его движения над дном происходит накопление ^{224}Ra, фосфатов и аммония с формированием их одновременного экстремума. Поступление изотопов ^{224}Ra и биогенных веществ в придонный слой устьевого взморья связывается с биоиррегацией, а также биотурбацией полихет, наибольшая плотность поселения которых пространственно совпадает с экстремумом ^{224}Ra.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (проект МК-153.2020.5).

РЕКРЕАЦИОННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ЧЁРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ

Сергин С.Я., Цай С.Н. Шаповалова А.С.

Филиал РГГМУ, г. Туапсе, Россия
alina.29.2011@yandex.ru

Ключевые слова: Черноморско-Азовский регион, Береговая зона Черного и Азовского морей, Субтропичность климата Причерноморья и Приазовья, Рекреационные климатические ресурсы Черноморско-Азовского региона.

Экономика стран Черноморско-Азовского региона, как известно, в большой мере зависит от естественных рекреационных ресурсов.

Важное значение здесь имеют климатические условия, особенно в прибрежной и береговой зонах. Они основательно изучены, но остаются объектом исследований региональной и медицинской климатологии. Цель работы – пополнение знаний о возможностях рекреационного использования климатических условий региона.

В качестве важного показателя климатических условий, примем индекс внутригодового распределения осадков, который определяется по формуле:

$$И_{ар} = (P_w – P_c) / P_a.$$

Здесь $И_{ар}$ – рассматриваемый индекс, P_w и P_c – осадки за теплое и холодное полугодия, P_a – осадки за год. В умеренных климатических поясах $И_{ар}$ может варьировать от 1 до 0, а в субтропических зонах – от 0 до -1 (Сергин, Земцов, 2015).

Значения Иар вполне согласуются с данными о температурных условиях в регионе. За неимением места отметим только тот факт, что летняя (июльская) температура и индекс внутригодового хода осадков почти не различаются между частями региона. Но зимние температуры существенно различаются по территории и влиянию рекреационных ресурсов.

Согласно изученным данным в Азово-Черноморском регионе субтропический климат вторгается в пределы умеренного климатического пояса. Это более всего выражено в южной и восточной частях региона. В западной, средней и северной его частях имеет место плавный переход значений Иар умеренной и субтропической зон. В целом климатические условия рассматриваемого региона благоприятствуют развитию его рекреационной специализации.

ОЦЕНКА ОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МОРСКИХ УСТЬЯХ РЕК ПО НАТУРНЫМ ДАННЫМ (НА ПРИМЕРЕ УСТЬЯ Р. ЧЁРНОЙ)

Слепчук К.А., Миньковская Р.Я., Антоненков Д.А., Чепыженко А.И.

МГИ, г. Севастополь, Россия
skira@mhi-ras.ru

Ключевые слова: водо-, тепло- и солеобмен, устье р. Черной.

Процесс взаимодействия разнородных вод в устьях рек носит конвективно-диффузионный характер. При средних гидрометеорологических условиях отмечается разнонаправленный адвективный перенос воды, тепла и солей, играющий важную роль в формировании режима и качества воды. Для его количественных

оценок разработан алгоритм и программа расчета, а также выполнена оценка разнонаправленных расходов воды ($q_в$), тепла (q_t) и солей (q_c) аналитическим методом с использованием натурных данных в устье р. Черной.

Анализ натурных данных показал, что расхождения между величинами, полученными при синхронных измерениях в створах различными приборами, иногда достигают 2–17 %. Очевидно, это связано с отсутствием поверок приборов или существенной изменчивостью характеристик среды, что потребует увеличения времени выдержки измерителя в точке для получения более достоверных результатов.

Для проверки точности определения обменных составляющих аналитическим методом использовался графический метод.

Предлагаемый способ оценки составляющих обменных процессов по натурным данным может быть использован в любом створе морского устья реки.

ГЕОХИМИЯ СОВРЕМЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВЫГОЗЕРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА, ВОДОСБОР БЕЛОГО МОРЯ (АРКТИЧЕСКАЯ ЗОНА РФ)

Слуковский З.И.[1,2], Белкина Н.А.[3], Потахин М.С.[3]

[1]ИППЭС КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия
slukovsky87@gmail.com
[2]Институт геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, Россия
[3]ИВПС КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, Россия

Ключевые слова: донные отложения, тяжелые металлы, Выгозерское водохранилище, урбанизация, Арктическая зона РФ.

Исследованы современные донные отложения Выгозерского водохранилища, расположенного в центральной части Республики Карелии (Северо-запад России, Арктическая зона РФ). Данное водохранилище является частью водосборного бассейна Белого моря и соединено с ним Беломоро-Балтийским каналом. Вы-

гозерское водохранилище судоходно. На его берегах расположены г. Сегежа и пгт Надвоицы, целлюлозно-бумажный комбина, алюминиевый завод и теплоцентраль (ТЭЦ).

Донные отложения отбирались при помощи пробоотборника Limnos. Всего было изучено 5 колонок отложений мощностью до 42 см. Грансостав осадков исследовался на лазерном анализаторе частиц. Количество органического вещества оценивалось по данным о потерях после прокаливания. Содержание микроэлементов, в том числе тяжелых металлов, в определялось методом ICP-MS.

Исследования показали, что в гранулометрическом составе современных осадков водохранилища преобладают фракции от 0,01 до 0,25 мм. Частицы указанных размеров составляют от 73 до 81 % массы изученных осадков. Содержание органического вещества отложений Выгозерского водохранилища варьирует от 22 % до 50 %. Среднее содержание органки для всех станций отбора проб – 36,9 %. По этому показателю изученные отложения можно классифицировать как орагано-минеральные осадки.

Анализ содержания химических элементов в современных отложениях Выгозерского водохранилища, показал, что осадки несут на себе отпечаток антропогенного воздействия. Основными индикаторами этого процесса являются повышенные концентрации химических элементов относительно их среднего содержания в континентальной коре т фона региона. Наибольшие превышения отмечены для Sb, Pb, Cd, Bi, Zn, Cu, W. Основным техногенным фактором обогащения верхних слоев отложений водохранилища указанными элементами следует считать дальний атмосферный перенос загрязняющих веществ от промышленных предприятий Севера России и Европы. В северной части Выгозерского водохранилища были установлены локальные аномалии V и Ni, возникшие в результате эксплуатации мазутной ТЭЦ города Сегежа.

Расчет интегрального индекса антропогенной нагрузки PLI показал, что наиболее загрязненными районами Выгозерского водохранилища являются его северная и центральная части. На этих участках изученные колонки отложений показали высокий

уровень загрязнения водохранилища. Однако в целом все исследованные станции Выгозерского водохранилища характеризуются умеренным уровнем загрязнения.

Корреляционный анализ выявил, что некоторые металлы (Pb, Sb, Cd, Sn, Bi) имеют тесную связь с органическим веществом донных отложений, поскольку детрит и гуминовые вещества являются хорошими сорбентами загрязняющих веществ в водной среде. С одной стороны, это говорит о надежном закреплении указанных тяжелых металлов в донных отложениях, а с другой – о вожможности миграции их по трофическим цепям – от бентоса к рыбе, населяющих Выгозероское водохранилище.

Исследования выполены в рамках работы по государственному заданию Карельского научного центра (отбор проб) и гранта Российского научного фонда № 19-77-10007 (частичная интерпретация данных).

СОЛЕНОСТЬ В ЮЖНОМ СИВАШЕ ПОСЛЕ ПЕРЕКРЫТИЯ СЕВЕРО-КРЫМСКОГО КАНАЛА

Совга Е.Е., Ерёмина Е.С.

МГИ, г. Севастополь, Россия
shchurova88@gmail.com

Ключевые слова: залив Сиваш, Северо-Крымский канал, соленость, Южный Сиваш.

В настоящей работе осуществлен анализ изменения солености в Южном Сиваше во время работы Северо-Крымского в 2013 г., и после его перекрытия в 2014 г. По результатам экспедиционных исследований МГИ показан рост солености в акватории этой части Восточного Сиваша за период 2016–2020 гг.

Согласно полученным данным в июне 2013 г. на нескольких стациях соленость менялась от 47 до 55 ‰, а в июне 2016 г. на тех же станциях соленость возросла от 67 до 75 ‰ соответственно. Затем в мае 2018 г., соленость воды в Южном Сиваше на восьми из девяти станций опять выросла от 75 ‰ до 82 ‰, при

максимальных значениях на самой южной станции. После летнего сезона, на восьми станциях соленость возросла на 11–17 ‰ и изменялась от 89 ‰ до 92 ‰. Такой значительный сезонный рост солености в акватории всей восточной ветви залива наблюдался только в Южном Сиваше. В 2020 г. соленость практически на всех станциях Южного Сиваша впервые с момента запуска Северо-Крымского канала превысила 110 ‰. Такие значения солености были последний раз определены в Южном Сиваше в 1969 г. еще до работы канала. Таким образом, за 6 лет после перекрытия канала соленость в Южном Сиваше практически полностью восстановилась до уровня условно-естественного состояния залива.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0005.

ОТЛИЧИЯ В САМООЧИСТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ЭКОСИСТЕМ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ В ОТНОШЕНИИ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ФОРМ АЗОТА

Совга Е.Е.[1], Мезенцева И.В.[2], Хмара Т.В.[1]

[1]МГИ, г. Севастополь, Россия
[2]СО ГОИН, г. Севастополь, Россия

Ключевые слова: Севастопольская бухта, самоочистительная способность, аммоний, нитриты, нитраты.

Севастопольская бухта относится к мелководным акваториям, которые связаны с открытым морем узкими проливами, характеризуются сложным географическим и морфометрическим строением, наличием источников пресных вод и зон их смешения с морскими водами. Самоочистительная способность экосистем таких акваторий значительно снижена и зависит от многих факторов как природного, так и антропогенного происхождения.

В зависимости от локализации источников загрязнения, морфометрии и гидрометеорологических условий, в Севастопольской бухте образуются как относительно «чистые» зоны, так и зоны устойчивого высокого уровня загрязнения (например, Южная бухта).

На основе анализа полученных ранее величин самоочистительной способности путем расчета ассимиляционной емкости экосистем западной, центральной, восточной частей Севастопольской бухты и Южной бухты в отношении нитритов, нитратов и аммония делается заключение о возможных причинах отличий в самоочистительной способности указанных экосистем.

При этом рассматриваются следующие возможные причины таких отличий: концентрации указанных неорганических форм азота, время их элиминации из экосистемы, динамические процессы, способствующие выведению за пределы экосистемы, возникновение условий вторичного поступления форм азота из донных отложений в процессе деструкции органических веществ в придонном слое вод в условиях возникающей гипоксии.

В работе [1] отличия в самоочистительной способности акваторий путем расчета ассимиляционной емкости экосистем западной, центральной, восточной частей Севастопольской бухты и Южной бухты оценены в отношении нитратов, являющихся преобладающей формой неорганического азота. При этом из-за различных объемов исследуемых акваторий Севастопольской бухты их самоочистительная способность оценивалась по удельной величине ассимиляционной емкости ($АЕ_{уд}$), которая рассчитывается на единицу объема (1 л) и времени (1 сут.).

В настоящем сообщении оцениваются причины отличий в самоочистительной способности перечисленных экосистем Севастопольской бухты в отношении нитритов и аммония в сравнении с нитратами.

Анализ полученных данных показал, что в отношении нитратов исследуемые акватории по снижению самоочистительной способности можно расположить в ряд: западная часть ($АЕ_{уд}$ =5,104 мкМ/л в сут.) > центральная часть ($АЕ_{уд}$=0,614 мкМ/л в сут.) > восточная часть ($АЕ_{уд}$=0,586 мкМ/л в сут.) > южная часть ($АЕ_{уд}$=0,580 мкМ/л в сут). Таким образом, в отношении нитратов наиболее проблемными в плане самоочистительной способности оказались восточная часть бухты и Южная бухта. В отношении аммония и нитритов этот ряд несколько меняется: западная часть ($АЕ_{уд}$=0,540 мкМ/л в сут. (0,043 мкМ/л в сут.)) > южная часть ($АЕ_{уд}$=0,132 мкМ/л в сут. (0,006 мкМ/л в сут.)) > восточная часть ($АЕ_{уд}$=0,126 мкМ/л в сут. (0,006 мкМ/л в сут.)) > центральная часть ($АЕ_{уд}$=0,080 мкМ/л в сут. (0,004 мкМ/л в сут.)). И наиболее проблемной оказывается центральная часть бухты.

Одной из причин таких отличий может быть как повышенное содержание в воде аммония и нитритов, так и процессы, связанные с их удалением из экосистемы. Так, повышение содержания аммония и нитритов в мелководных акваториях связывают с увеличением поставок органического вещества и сезонной стратификацией вод, сопровождающейся образованием гипоксии и окислением органического вещества за счет нитратов с образованием дополнительного количества аммония. Такие явления довольно подробно изучались по данным, полученным в экспедиционных исследованиях МГИ в восточной кутовой части бухты [2]. Однако эти явления ограничены как локальными участками кутовой части буты, так и незначительным временным интервалом их проявления – только в период летнего прогрева вод, поэтому незначительно отражаются на самоочистительной способности этой акватории в отношении аммония.

Причины самой низкой удельной величины ассимиляционной емкости центральной части бухты в отношении аммония и нитритов, очевидно, связаны с особенностями динамического режима этой акватории. Наличие в границах акватории двух встречных потоков – одного с востока на запад со стороны р.Черной и второго со стороны открытой части моря – способствует формированию в центральной части Севастопольской бухты буферной зоны, где разнонаправленные потоки, в том числе и «обогащенные» загрязняющими веществами, как бы замыкаются. Еще одной возможной причиной пониженной самоочистительной способности центральной части бухты может быть поступление в ее воды дополнительного количества аммония и нитритов с водами Южной бухты при ее вентилировании в условиях определенных гидрометеоситуаций.

Работа выполнена по теме госзадания № 0555-2021-0005 (шифр «Прибрежные исследования»), а также по теме лаборатории химии моря СО ГОИН № 4.6.1.

1. Совга Е. Е., Мезенцева И. В., Слепчук К. А. Сравнение ассимиляционной емкости и индекса трофности различных частей акватории Севастопольской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 3. С. 63–76. doi:10.22449/2413-5577-2020-3-63-76

2. Кондратьев С. И., Видничук А. В. Локальная сезонная гипоксия и образование сероводорода в придонных водах Севастопольской бухты в 2009–2019 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. №. 2. С. 69–90. doi:10.22449/2413-5577-2020-2-69-90.

РОЛЬ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА «ВИТЯЗЬ» В МЕЖДУНАРОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ МИРОВОГО ОКЕАНА (1949–1979 ГГ.)

Степанчук Ю.В.

ММО, г. Калининград, Россия
nikfor84@mail.ru

Ключевые слова: НИС «Витязь», история океанологии, изучение океана, международные программы, международное сотрудничество.

За короткими аббревиатурами названий международных проектов скрываются усилия сотен ученых из десятка стран по изучению важных процессов, протекающих на огромных акваториях Мирового океана и влияющих на всю нашу планету в целом и жизнь всех людей. Программы проектов предусматривали участие нескольких десятков научно-исследовательских судов в изучении океана в течение нескольких лет. Проводились работы, масштаб которых и полученные материалы трудно оценить и сегодня. На основе всех опубликованных, архивных и фондовых материалов сделана попытка сравнить и определить значение работ, проведенных на научно-исследовательском судне (НИС) «Витязь» по этим проектам в международном масштабе.

В 1950–1960-х гг. НИС «Витязь», как флагман научно-исследовательского флота АН СССР участвовал в самых значимых и масштабных международных проектах по изучению Мирового океана: Международном Геофизическом году (МГГ) и Международном геофизическом сотрудничестве (МГС, The International Geophysical year and the International geophysical cooperation); Международной Индоокеанской экспедиции (МИОЭ), International Indian Ocean Expeditions (IIOE); проекте «Верхняя мантия и ее влияние на развитие земной коры» (The «Upper mantle and its influence on the development of the earth's crust»). В этих проектах НИС «Витязь» представлял советскую науку и сделал самые масштабные исследования по программе СССР. Этот период характеризуется проведением расширенных комплексных исследований: впервые измерены длительные ряды значений, получены регулярные данные и на их основе систематизированы все наблюдения, сделаны крупные обобщения,

составлены новые карты, появились новые направления работ. В 1960-х гг. происходит постепенная смена тематики экспедиционных работ, проводятся специализированные полигонные исследования с широким комплексом длительных детальных работ. Полученные материалы позволили выявить закономерности процессов, распространяемые на значительные площади, особенно это проявилось в геологических работах, также происходит появление новых и развитие существующих направлений исследований. К началу 1970-х гг. количественный состав научно-исследовательского флота пополнился новыми более современными, специально построенными, большими судами. Флагманом флота стал НИС «Академик Курчатов». В это время НИС «Витязь» проводил исследования по международным проектам в меньшем масштабе, так, например, в Международный геодинамический проект (The Geodynamic Project) и Программе «Совместные исследования Куросио и прилегающих районов» (The Cooperative Study of the Kuroshio and Adjacent Regions (CSK), он проводит только по одному рейсу, а вот в эксперименте «ПОЛИМОДЕ» по количеству проведенных океанографических станций и объему работ по советской программе занимает второе место среди девяти судов.

Проведение международных проектов по изучению океана и подготовка к ним способствовали появлению новых методик работ, разработке новых приборов и оборудования и позволили советским ученым развернуть исследования в масштабах открытого океана. Ученые на борту НИС «Витязь» сделали выдающиеся открытия в разных направлениях океанологии.

ВЛИЯНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СЕВЕРНОМ КАСПИИ

Стольникова Н.В., Гонтовая И.В., Светашева Д.Р.

КаспМНИЦ, г. Астрахань, Россия
natashka_stolnik@mail.ru

Ключевые слова: Северный Каспий, загрязнение, тяжелые металлы, ветер, ветровые течения, перенос.

Изменение климата сказывается на различных компонентах природной среды, в том числе и на формировании гидролого-гидрохимических процессов. Гидрометеорологические параметры влияют на перенос и изменение концентрации загрязняющих веществ, гидролого-гидрохимические условия и биологические процессы.

Наиболее важной задачей при оценке вектора развития экологических систем и степени их уязвимости является изучение климатических характеристик ветра.

Режим ветра является одним из факторов, влияющих на формирование течений в Северном Каспии. Характер течений определяет пространственно-временные изменения гидрохимического режима, влияет на процессы загрязнения вод.

В статье проанализированы повторяемость ветра по направлениям и среднемесячные значения скорости ветра и пространственное распределение тяжелых металлов (ТМ) в поверхностном слое воды за 2019 г. по данным систематических наблюдений Росгидромета за загрязнением морской среды на акватории российского сектора недропользования Каспийского моря (РСНП) на государственных наблюдательных станциях (ГНС) Северного Каспия.

Соединения ТМ относятся к группе наиболее опасных токсических веществ, загрязняющих водную среду. В группу наиболее распространенных ТМ входят марганец, никель, цинк, железо, кадмий, свинец, медь, характеризующиеся длительным сохранением и накоплением в воде, донных отложениях и гидробионтах.

В восточной части российского сектора Северного Каспия, в поверхностном горизонте на протяжении всего периода исследований содержание тяжелых металлов было несколько ниже, чем на станциях, расположенных в западной части. Так, весной 2019 г. концентрация цинка в восточной части РСНП составила 60,38 мкг/л, а в западной – 101,1 мкг/л. Аналогичная картина концентрации была характерна для никеля (21,9<34,33 мкг/л), марганца (9,8<22,9 мкг/л), хрома (3,68<5,8 мкг/л), свинца (6,2<6,4 мкг/л), кадмия (1<1,67 мкг/л).

Осенью 2019 г. распределение загрязнения ТМ соответствовало наблюдениям, проведенным весной. Концентрация следующих металлов: никель (15,6<18,1 мкг/л), кадмия (0,4<0,86 мкг/л),

железо (100<122 мкг/л), хрома (8,3<12,1 мкг/л) на востоке была ниже, чем на западе.

В период отбора проб весной и осенью 2019 г. в Северном Каспии преобладали ветра восточных румбов. При устойчивых ветрах восточных румбов идет перенос вод на запад и юго-запад Северного Каспия, что сопоставимо с распределением ТМ, концентрация которых в западных районах была несколько выше, чем восточных.

Поскольку отбор проб проводился весной, в начале апреля (06.04.2019 г.), при минимальном влиянии речного стока на концентрацию и распределение ТМ (так как сброс воды весной 2019 г. начался с 21 апреля), можно утверждать, что ветровое течение является важным фактором, влияющим на распределение ТМ в северо-каспийских водах.

«БУДУЩЕЕ ЗЕМЛИ»: ГЛОБАЛЬНОЕ РАДИАЦИОННОЕ ПОЛЕ – «НЕМАТЕРИАЛЬНАЯ» КОМПОНЕНТА КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И «ДИКТАТОР ОКЕАН». К 110-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ М.В.КЕЛДЫША

Сушкевич Т.А., Стрелков С.А., Максакова С.В.

ИПМ РАН, г. Москва, Россия
tamaras@keldysh.ru

Ключевые слова: Будущее Земли, климатическая система, радиационное поле, атмосфера, облака, океан, H_2O и CO_2.

Двадцать первый год двадцать первого столетия (2021) – это год 110-летия со дня рождения М.В. Келдыша (10.02.1911–24.06.1978) – не только «властелина цифры», основоположника современной информатики и «цифровизации», Главного Теоретика космонавтики и идеолога космических исследований, единственного математика Трижды Героя Социалистического Труда. 60 лет назад 19 мая 1961 года М.В.Келдыш был избран Президентом Великой Академии наук СССР и был признан лучшим Президентом АН за всю её почти 300-летнюю историю, при котором

наука в СССР начала развиваться широким фронтом по всем областям знаний и могла конкурировать с науками всех стран. Никто и никогда не сделал так много для фундаментальной науки и научно-технического прогресса: «Эпоха Келдыша» – никто более такого признания не удостоен.

2021 год знаменателен неожиданным повышением внимания руководителей разных стран мира и исследователей к наукам и не только к проблемам климата (США вернулись в «Парижское соглашение»), признанного опять международным приоритетом. В научном мире стартовало «Десятилетие науки об океане в интересах устойчивого развития ООН (2021–2030)», инициаторами которого стали Международные союзы ученых по разным областям знаний. Всё больше стран и проектов подключаются к Всемирной Глобальной Научной Программе «Будущее Земли». В России объявили Год науки и технологий. Необходим следующий шаг – это объединение всех ученых и молодых в движение «За мир во всем мире», символом которого была «Голубка» Пикассо (1952 г.), иначе может быть потерян шанс спасения планеты.

Ни в одной стране мира не было такого фундаментального и масштабного научного наследия в области наук о Земле, космических исследований и прикладной математики, которое досталось России от СССР. Потому что детонатором и драйвером развития этих наук были успешные фантастические и эпохальные «Атомный» и «Космический» проекты и реализация «Ракетно-ядерного щита». Прошло 30 лет, как ликвидировали СССР – Великую научную державу во главе с Великой Академией наук СССР, и жизнь заставила мировую элиту и ученых вернуться к тому прогрессивному научному пути, что был предначертан и провозглашен ещё в январе 1990 года.

В 1989-1991 гг. советские ученые во главе с авторитетными академиками – Учеными – Лидерами и организаторами науки – К.Я. Кондратьевым (14.06.1920–01.05.2006), Г.И. Марчуком (08.06.1925-24.03.2013), Ю.А.Израэлем (15.05.1930-23.01.2014), Н.Н. Моисеевым (23.08.1917–29.02.2000), Г.С. Голицыным (23.01.1935) – со всей серьезностью фундаментально и ответственно готовились к первому правительственному «Саммиту Земля» в Рио-де-Жанейро, 1992 год. Неизгладимое впечатление

осталось от интеллектуальной «мозговой» атаки ведущих советских специалистов по координации усилий в области экологии и климата под эгидой ООН (43-я сессия Генеральной Ассамблеи ООН, декабрь 1988 г.) и при проведении «Глобального форума по защите окружающей среды и развитию в целях выживания» (Москва, январь 1990 г.) с широким международным участием – более пяти тысяч участников, в том числе из США Альберт Гор (вместе с Ю.А.Израэлем в 2007 году получили Нобелевскую премию за исследования климата) и астрофизик Карл Саган (соавтор сценария «ядерной зимы»). Участники обсудили темы, которые и ныне актуальны: «Земля и человеческое общество», «Человек и природа», «За выживание и развитие человечества», «Технология, промышленность, урбанизация: экологические проблемы здоровья» и др. Отмечалось, что человечество столкнулось одновременно с двумя угрозами – ядерной и экологической. Заключительное заседание форума состоялось в Кремле. С обращением к участникам «Глобального форума» выступил президент СССР М.С. Горбачев. Он озвучил основные идеи Программы по спасению биосферы и восстановлению ее жизненных сил (Программу подготовили ученые АН СССР при участии Г.И. Марчука — последнего Президента АН СССР, Н.Н. Моисеева, А.Л. Яншина, Ю.А.Израэля, К.Я.Кондратьева, Г.С.Голицына и др.). Суть их состояла в том, чтобы разработать международный кодекс экологической этики. Будучи обязательным для всех государств, кодекс содержал бы единые требования и критерии цивилизованного отношения к природе. Такая акция символизировала бы готовность мирового сообщества в лице своих высших представителей строить жизнь по новым законам…

Радиационное поле (электромагнитное излучение) – основа мироздания и «нематериальная» компонента климатической системы Земли (КСЗ). Эта непрерывно изменяющаяся и никогда не повторяющаяся динамичная и непредсказуемая компонента с нелинейными процессами – сложнейший объект для исследований, поскольку является комплексным откликом на все изменения в КСЗ и в натурных условиях трудно разделить вклад тех или иных изменений в КСЗ, а также невозможно повторить условия наблюдений.

Главным конкурирующим среди «тепличных газов» и сильнейшим фактором влияния на радиационное поле и КСЗ является влажность в разных фазовых состояниях (водяной пар, капли, кристаллы, снег, лед и т.п.), изучение которой много сложнее, чем «углеродный след» или «карбоновый полигон».

Из всего комплекса проблем предлагается исследование гипотезы «Океан – диктатор климата» на основе «сценарного» подхода. Комплексная модель содержит четыре основных блока: перенос солнечного излучения в системе океан-атмосфера; испарение с поверхности океана и формирование поля влажности в атмосфере; образование облачности; перенос солнечного излучения в системе океан-атмосфера с облаками.

Тема 0017-2019-0002 ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

СООБЩЕСТВО ЗООБЕНТОСА ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ ОЗ. ДОНУЗЛАВ

Терентьев А.С., Сёмик А.М.

АзНИИРХ, г. Керчь, Россия
iskander65@bk.ru

Ключевые слова: оз. Донузлав, зообентос, видовое разнообразие.

В 2016 г. в прибрежной части оз. Донузлав было обнаружено 31 вид донных животных. По видовому богатству преобладали ракообразные, полихеты и двустворчатые моллюски. Ракообразные насчитывали 11 видов. Разноногих представляли: *Ampelisca diadema* (Costa, 1853), *Ampithoe ramondi* Audouin, 1826, *Gammarus subtypicus* Stock, 1966, *Microdeutopus gryllotalpa* Costa, 1853, Pontogammarus crassus (G. O. Sars, 1894). Была встречена морская козочка *Caprella acanthifera* Leach, 1814. Клешненосных осликов представляли: *Apseudopsis ostroumovi* Bacescu & Carausu, 1947 и *Tanais dulongii* (Audouin, 1826). Усоногих – *Amphibalanus improvisus* (Darwin, 1854), кумовых – *Pseudocuma (Stenocuma) cercarioides* Sars, 1894, а равноногих – *Sphaeroma serratum*

(Fabricius, 1787). Из бродячих полихет были встречались: *Harmothoe imbricata* (Linnaeus, 1767), *Nephtys hombergii* Savigny in Lamarck, 1818, *Ceratonereis (Composetia) costae* (Grube, 1840), *Hediste diversicolor* (O.F. Müller, 1776) и *Alitta succinea* (Leuckart, 1847). Из сидячих полихет отмечены *Lagis koreni* Malmgren, 1866 и *Leiochone leiopygos* (Grube, 1860). Двустворчатых моллюсков представляли: *Abra nitida milachewichi* Nevesskaja, 1963, *Chamelea gallina* (Linnaeus, 1758), *Gibbomodiola adriatica* (Lamarck, 1819), *Mytilaster lineatus* (Gmelin, 1791), *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 181, *Parvicardium exiguum* (Gmelin, 1791) и *Polititapes aureus* (Gmelin, 1791). Брюхоногие моллюски представлены: *Bittium reticulatum* (da Costa, 1778), *Hydrobia acuta* (Draparnaud, 1805), *Trigonia pulla* J. de C. Sowerby, 1826 и *Tritia reticulata* (Linnaeus, 1758). Также встречалась кремнероговая губка – *Petrosia (Petrosia) ficiformis* (Poiret, 1789) и асцидия – *Molgula appendiculata* Heller, 1877. Чаще всего встречался *B. reticulatum*.

Наиболее высокой численностью отличались *Am. improvisus* и *B. reticulatum*. Наиболее высокая биомассой – P. aureus и *B. reticulatum*. Доминантным видом был *B. reticulatum*. На его долю приходилось 32 % численности и 18 % биомассы зообентоса.

Плотность видов колебалась от 2 до 7 вид/м^2, в среднем равняясь 4,8±0,6 вид/м^2. Численность зообентоса изменялась от 80 до 4080 экз./м^2, в среднем равняясь 890±440 экз./м^2. Биомасса зообентоса находилась в пределах от 0,08 до 359,80 г/м^2. В среднем она равнялась 68±41 г/м^2.

Наиболее высокая доля в численности зообентоса наблюдалась у ракообразных. На долю которых в среднем приходился 54 % общей численности зообентоса. По биомассе доминировали двустворчатые моллюски. На их долю в среднем приходилось 67% общей биомассы зообентоса оз. Донузлав.

Средняя численность ракообразных равнялась 480±150 экз./м^2, при этом их биомасса в среднем равнялась 1,80±0,42 г/м^2. Биомасса двустворчатых моллюсков в среднем была 45±14 г/м^2, при численности 62±11 экз./м^2. Брюхоногие моллюски занимают третье место по численности и второе по биомассе. Их численность в среднем равнялась 310±120 экз./м^2, а

биомасса – 17,5±7,4 г/м^2. На их долю приходилось соответственно 35 % общей численности и 26% общей биомассы зообентоса. Численность полихет в среднем равнялась 31,1±4,4 экз./м^2, а биомасса – 0,88±0,21 г/м^2. Их доля в общей численности и биомассе зообентоса была относительно небольшой, всего около 4 и 1 % соответственно. Асцидии и губки играли относительно небольшую роль в численности и биомассе зообентоса.

Численность кормового зообентоса колебалась от 80 до 400 экз./м^2, в среднем она равнялась 173±39 экз./м^2. Биомасса кормового зообентоса колебалась от 0,08 до 20,40 г/м^2, в среднем она равнялась 5,2±2,6 г/м^2. На долю кормовых видов приходилось 20 % общей численности и 8 % биомассы зообентоса. Но на отдельных участках дна практически весь зообентос был представлен кормовыми видами.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ВЛИЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ В ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ МОРЕЙ

Тлявлин Р.М., Тлявлина Г.В.

НИЦ «Морские берега», г. Сочи, Россия
TlyavlinRM@Tsniis.com

Ключевые слова: морское дно, рельеф, физическое моделирование, шельфовая зона.

Морское дно с его рельефом и осадками, водные массы морей и океанов, а также ландшафты береговой зоны представляют собой систему местообитаний, или биотопов, в которых поддерживаются сообщества организмов и функционируют морские экологические системы.

На среду обитания морских организмов также оказывают физические свойства морской воды (соленость, температура, плотность и т. п.), которые, в свою очередь, в значительной степени определяются циркуляцией вод.

При проектировании сооружений в шельфовой зоне морей (нефтегазопромысловых, портовых, берегозащитных и проч.) одной из основных задач является минимизация негативного влияния на экологическую среду водоема, как места обитания морской флоры и фауны. Влияние гидротехнических сооружений на экологическую среду в шельфовой зоне морей заключается преимущественно в следующем:

– изменение циркуляции морских вод: изменение скорости и направления течений, нарушение водообмена акватории.

– изменение естественного рельефа морского дна: образование зон размыва или намыва донного грунта.

Для минимизации негативного влияния строительства на экологическую среду водоема необходимо заранее оценить такое влияние с возможно высокой точностью. Наиболее точным в настоящее время является метод физического моделирования.

Традиционно физическое моделирование было и остается основным методом научных исследований и обеспечения надежности и долговечности проектируемых конструкций в области гидротехнического строительства, как в нашей стране, так и за рубежом.

Однако этот метод может также использоваться и в экологических исследованиях, а также в комплексе с биологическими исследованиями (например, исследование рыбозащитных устройств).

РАЗРАБОТКА НАЦИОНАЛЬНОГО СТАНДАРТА ГОСТ Р «ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПОРТОВЫЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ. ТРЕБОВАНИЯ К ПОСТРОЕНИЮ МОДЕЛИ, ПРОВЕДЕНИЮ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ОБРАБОТКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ»

Тлявлина Г.В.

НИЦ «Морские берега», г. Сочи, Россия
TlyavlinaGA@Tsniis.com

Ключевые слова: волновое воздействие, физическое моделирование, экспериментальные исследования.

Физическое моделирование – один из основных методов решения практических (инженерных) задач. Особенно эффективно этот метод применяется в гидротехнике, когда, ввиду сложности протекающих процессов, получение достоверных теоретических результатов связано со значительными трудностями.

В настоящее время в нормативных документах содержатся требования о необходимости физического моделирования волновых нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения, в том числе портовые. Однако, ни в одном действующем нормативно-техническом документе не установлены требования ни к физическим моделям, ни к процессу моделирования волнового воздействия. Такая ситуация приводит к тому, что физическое моделирование либо не выполняется вообще, либо выполняется формально с грубыми нарушениями методик, отраженных в научной литературе. Это, в свою очередь, приводит к принятию ошибочных проектных решений, и, как следствие, к разрушениям конструкций и многомилионным потерям.

В рамках Государственного задания по реализации комплекса мероприятий по развитию нормативной технической базы в области строительства в соответствии с выявленными потребностями в разработке, актуализации и гармонизации с международными нормами нормативных технических документов по приоритетным для государства направлениям, в части организации и проведения работ по разработке, экспертизе и подготовке к утверждению проектов национальных и межгосударственных стандартов в сфере строительства в 2020 г. ОП АО ЦНИИТС «НИЦ «Морские берега» разработан ГОСТ Р «Физическое моделирование волновых воздействий на портовые гидротехнические сооружения. Требования к построению модели, проведению экспериментов и обработке результатов».

Требования стандарта распространяются на физическое (лабораторное) моделирование волновых воздействий на портовые гидротехнические сооружения, проводимое для строительства, реконструкции и капитального ремонта портовых гидротехнических сооружений.

Стандарт устанавливает требования к построению модели, проведению экспериментов и обработке результатов при проведении физического моделирования волновых воздействий на портовые гидротехнические сооружения.

Шифр темы ПНС 1.13.465-1.285.20.

ОЦЕНКИ РИСКОВ ДЕГРАДАЦИИ ПЛЯЖЕЙ ЗАПАДНОГО КРЫМА В РЕЗУЛЬТАТЕ РЕАЛИЗАЦИИ МАСШТАБНЫХ ПРОЕКТОВ БЕРЕГОУКРЕПЛЕНИЯ

Удовик В.Ф.

МГИ, г. Севастополь, Россия
udovik_uvf@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Западный Крым, берегоукрепление, деградация пляжей, литодинамическая система, бюджет наносов.

В настоящее время активно озвучиваются и продвигаются планы по техногенному преобразованию морских берегов и пляжной зоны Западного Крыма. Анонсируемые масштабные проекты застройки побережья в большинстве случаев представляются в виде красочных визуализаций архитектурно-планировочных решений, сопровождаемых проектом планировки и межевания осваиваемой территории. Финансирование работ предполагается осуществлять в рамках реализации коммерческих и инвестиционных проектов, а также Федеральной целевой программы «Социально-экономическое развитие Республики Крым и г. Севастополя».

Во всех проектах особое внимание уделяется разделу берегоукрепительных мероприятий, обеспечивающих, по мнению проектировщиков, полную стабилизацию прибрежной полосы суши даже в условиях существования оползней. Для Севастопольского региона в качестве наиболее эффективной системы защиты берегов предлагается строительство непрерывных бетонных набережных с размещенными на них многоэтажными зданиями, именуемых в проектной документации «берегоукрепительными сооружениями с элементами жилых помещений и инфраструктуры». Строительство включает террасирование протяженных участков береговых склонов без возврата извлекаемых объемов гальки и гравия в бюджет наносов литодинамической системы. Благоустройство пляжной зоны предполагается осуществлять посредством отсыпки широких искусственных песчаных пляжей и

строительства поперечных гидротехнических сооружений в виде бун, обеспечивающих неизменность ширины пляжей при незначительных ремонтных подсыпках материала.

При этом не озвучены ключевые вопросы, связанные с тем, что террасирование и закрепление многокилометровых участков берега, содержит риски деградации пляжей в рамках всей литодинамической системы, охватывающей участок побережья от Севастополя до Евпатории. Основной причиной выступает практически полное прекращение поступления пляжеобразующего материала, происходящего в природных условиях в результате разрушения клифов.

Дополнительный анализ размещенной в открытых источниках проектной документации показал, что в рамках работ по проектированию не выполнялся в необходимом объеме комплекс литодинамических исследований, предусмотренный при проведении инженерно-гидрометеорологических изысканий, и не осуществлялось полноценное и объективное научное сопровождение проектов.

В качестве оптимального варианта разрешения сложившейся ситуации предлагается:

– вывести из отдельных проектов разделы «Берегоукрепление», объединить их и разрабатывать в рамках научно обоснованной единой стратегии управления динамикой наносов в береговой зоне Западного Крыма;

– произвести актуализацию оценок воздействия предлагаемых проектов на окружающую среду с детализацией всех возможных рисков развития негативных морфодинамических процессов в краткосрочной, среднесрочной и особенно долгосрочной перспективе;

– в дальнейшем информировать органы государственной власти, общественность и инвесторов о возможных рисках начиная с этапа технико-экономического обоснования любого проекта освоения берегов.

ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ КАК ИНДИКАТОРЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АКВАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Усенков С.М.

ЦМИ МГУ, г. Москва, Россия
usenkov.swyatoslaw@yandex.ru

Ключевые слова: седиментологические факторы, донные отложения, индикаторы загрязнения, динамические типы дна, интенсивность и общая степень загрязнения.

Современные исследования воздействия загрязнителей на окружающую среду направлены на реализацию различных стратегий менеджмента по минимизации имеющихся значимых экологических проблем. В этом контексте оценка аквальных систем должна генерировать информацию для принятия управленческих решений. Такая информация должна содержать сведения: (1) о присутствии или отсутствии загрязняющих компонентов, (2) о концентрации контаминантов в воде, осадках и биоте; (3) о пространственном распределении загрязняющих веществ (ЗВ); (4) об изменении содержания ЗВ во времени.

Исследования последних лет выявили ведущую роль седиментологических факторов в формировании экологического состояния водных бассейнов. Донные отложения являются важнейшим компонентом экологического пространства акваторий, что обусловлено, прежде всего, следующими их свойствами: (1) это среда обитания бентосных форм организмов, (2) в них происходит аккумуляция загрязняющих веществ, (3) они являются потенциальными источниками вторичного загрязнения. Это весьма важные причины для использования донных отложений в программах по контролю загрязнения аквальных систем.

Пробы осадков дают интегрированные во времени данные высокой локальной информативности. Химические и биологические параметры обычно не обладают высокой представительностью в точках наблюдения в силу значительной временной и пространственной изменчивости водных масс, а также низкой концентрации контаминантов, что может вызвать аналитические

проблемы. Биологические пробы часто имеют низкую локальную представительность, характеризуются существенной мозаичностью и часто их трудно интерпретировать.

Более высокие содержания в осадках подразумевают более простые методы исследования и более высокую надежность результатов по сравнению с пробами воды и биологическими образцами. Изучая осадки, можно выявить источники и оценить воздействие контаминантов на аквальную среду, в итоге – принять обоснованные меры по сокращению поступления ЗВ.

При изучении особенностей седиментогенеза с участием техногенной составляющей важно установить связь между динамическими условиями на дне и поведением токсичного седиментационного материала в различных обстановках. Знать тип образующегося осадка и потенциальные возможности донной динамики в определенной области бассейна необходимо для контроля за загрязнителями (мониторинг), водного планирования. драгирования и дампинга загрязненных грунтов.

Представляется, что для решения вопросов о поступлении, распределении и накоплении загрязняющих веществ, можно ограничиться изучением динамических типов дна. Существуют четкие связи между динамическими условиями на дне, физическими и химическими особенностями осадков и их загрязнением. Контаминанты гораздо более заметно проявляются в рыхлых, тонких и богатых органикой отложениях, характерных для областей аккумуляции. Это закономерно, так как большинство ЗВ распространяются в природных водах присоединившись к различным частицам и агрегатам, которые могут быть названы «несущими» частицами. Они определяют распространение контаминантов и до какой-то степени регулируют их потенциальное экологическое действие.

Непосредственно в докладе приводятся примеры использования седиментологичского подхода для анализа геоэкологического состояния различных акваторий, в том числе результаты оценки интенсивности, степени и структуры загрязнения донных отложений восточной части Финского залива и Великих озер Северной Америки и Европы.

УГРОЗЫ ОБЪЕКТАМ ПОДВОДНОГО ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Фазлуллин С.М.

РГГУ, г. Москва, Россия
sh1703@yandex.ru

Ключевые слова: подводное культурное наследие, подводная археология, управление подводным наследием, мониторинг объектов наследия, антропогенный подводный ландшафт, подводный парк.

В связи с ростом интереса в последние десятилетия к подводному культурному наследию (ПКН), необходимо сосредоточиться не только на раскопках и эксплуатации объектов подводной археологии, но также на защите и сохранении наследия. Этот комплексный процесс понимается как управление подводным культурным наследием. Это управление базируется на мониторинге объектов ПКН и создание специальных условий его сохранения, например, подводного парка или специальных подводных туристских маршрутов. ПКН является одним из наиболее незащищённых его видов, которому грозит исчезновение. Важно повышать осведомленность людей во всем мире о ценности ПКН и информировать лиц, принимающих решения, к принятию мер по защите этих культурных ценностей от неизбежных угроз. К таким угрозам относятся разграбление, коммерческая эксплуатация или строительство. Угрозы ПКН достаточно многочисленны. Они исходят и от человека, и от природных условий нахождения, и от воздействия биоты на них.

К настоящему времени сложилось понимание о том, как в процессе освоения географического пространства человечество активно взаимодействовало с гидросферой. Результатом этого взаимодействия стало преобразование природных ландшафтов и перевод их в культурные/антропогенные ландшафты. Степень трансформации культурного/антропогенного ландшафта зависела от усилий социума, который находился на определённом уровне экономического и технологического развития, а также

настойчивостью социума поддерживать культурный/антропогенный ландшафт в определенном преобразованном состоянии. Как правило к этим культурным ландшафтам относятся сельскохозяйственная округа, оборудованные территории охоты и рыбалки, пространственно-протяженные фортификационные сооружения. Наиболее преобразованными географическими пространствами стали города и крупные сельскохозяйственные поселения, где природа была значительно трансформирована. Сюда относятся также портовые и фортификационные сооружения. Эти объекты называют недвижимыми и/или селитебными.

К движимым объектам материальной культуры относят средства передвижения, например, суда. При этом не важно, речь идёт о небольшом деревянном (тростниковом) плавсредстве или о крупном современном судне. Даже тогда, когда суда оказались на дне водоёмов они все равно движимое наследие. В 20 веке к этим движимым объектам добавились летательные аппараты.

Исходя из особенности структуры культурных ландшафтов и средств передвижения по воде, мы знаем свойства материалов, из которых ландшафт или объект состоят. Географические условия, которые определяют характер бытования людей, определяют тот материал, который в массе использовался для строительства домов (сооружений) и изготовлении вещей. На воздухе эти материалы могли бы существовать достаточно долго, не теряя свои потребительские качества, но при контакте с гидросферой ситуация может меняться радикально.

В представленном докладе:

– рассматривается система «объекты – процессы – условия взаимодействия» между подводным ландшафтом и объектом ПКН;

– понимается, что вещь или объект сразу после своего изготовления начинает меняться, стареть. Скорость этого изменения зависит от условий окружающей вещь (объект) среды;

– учитывается, что вещи и объекты резко начинают меняться (разрушаться) если их контакт с водой приводит к их структурному или химическому изменению.

ТОНКИЕ СИНТЕТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА, ОСЕДАЮЩИЕ В НЕПОДВИЖНОЙ И КОНВЕКТИВНО ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕЙСЯ СРЕДЕ

Хатмуллина Л.И., Чубаренко И.П.

ИО РАН, г. Москва, Росиия
liliakhatmullina@gmail.com

Ключевые слова: микропластик, синтетические волокна, оседание, конвекция, лабораторный эксперимент.

Синтетические волокна диаметром в несколько десятков микрометров являются наиболее распространенным типом микропластика в морской среде, но самым неизученным с точки зрения его переноса в водной толще. Оседание таких волокон было исследовано в лабораторных экспериментах в спокойной воде и в условиях термической конвекции. Для 12 наборов тонких волокон из нейлона (1,12 г/см^3) и полиэстера (1,35 г/см^3), длиной 1,9–14,8 мм, диаметрами 13 и 20 мкм было выполнено 84 измерения скорости оседания в спокойной воде. Наблюдалось плавное оседание волокон с сохранением ими своей первоначальной (случайной) ориентации. Скорость опускания волокон длиной <5 мм варьировала от 0,5 до 3,7 мм/с (общее среднее 1,6±0.87 мм/с). Статистически подтверждено влияние ориентации волокон одной длины на результирующие скорости оседания: вертикально ориентированные волокна (19 % наблюдений) оседали быстрее, чем волокна с наклонной ориентацией (48 %), горизонтально ориентированные волокна (33 %) оседали с наименьшими скоростями.

Конвективное перемешивание в бассейне с подогревом снизу принципиально изменило характер погружения волокон: они стали двигаться нестационарно во всех возможных направлениях. В 78 измерениях нейлоновых волокон длиной 4 мм (с использованием техники «светового ножа») только около 56 % волокон имели нисходящую составляющую скорости (среднее значение 1,33 ± 0,78 мм/с), которая была вдвое меньше, чем скорость оседания волокон той же длины, измеренная в спокойной воде (0,88–3,65 мм/с). Для волокон был характерен большой разброс скоростей движения, отношение значений максимальной скоро-

сти к минимальной при одинаковых параметрах нагрева составляло до 14 раз. Волокна могли двигаться в разных направлениях и повторять круговые движения воды в конвективной ячейке. Таким образом, были выявлены два различных механизма удержания волокон в толще воды: увлечение частиц горизонтальными и вертикальными движениями среды и замедление опускания из-за нестационарного обтекания волокна. Удерживание волокон во взвешенном состоянии в присутствии термической конвекции привело к уменьшению интегрального потока частиц вниз в 4 раза по результатам проведенных экспериментов.

Специфические характеристики оседания и всплытия волокон в среде с конвективным перемешиванием, по-видимому, является существенным фактором, и его следует учитывать в численных моделях переноса микропластика, что позволит значительно улучшить оценку вертикального потока частиц.

Лабораторные эксперименты выполнены в рамках работы по гранту РФФИ № 18-35-00553; идентификация частиц выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 19-17-00041; лабораторное оборудование и техническое обслуживание обеспечено государственной бюджетной программой № 0128-2021-0012 Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Обобщение результатов проведено совместно с профессором Еленой Гороховой (Департамент экологической науки Стокгольмского университета), в рамках проекта MOTION № 22805/2019, финансируемого Шведским институтом (Swedish Institute). Рамановский анализ экспериментальных частиц проведен на базе ресурсного центра Балтийского федерального университета им. И. Канта Андреем Зюбиным.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОПЛАСТИКА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Чубаренко И.П., Есюкова Е.Е., Зобков М.Б., Исаченко И.А.

ИО РАН, г. Москва, Россия
irina_chubarenko@mail.ru

Ключевые слова: загрязнение; микропластик; волокна; зоны эрозии / транзита / накопления; Балтийское море.

Проведён анализ содержания частиц микропластика (0,2–5 мм, МП) в 53-х пробах донных отложений собственно Балтийского моря. Пробы отобраны с глубин от 3 до 215 м в 8 рейсах научно-исследовательских судов в марте-октябре 2015–2016 гг.

Содержание частиц МП варьировалось между станциями от 103 до 10 179 шт./кг сухого веса, при среднем значении 863 ± 1371 шт./кг сухого веса. Данные указывают на увеличение загрязнения с ростом глубины. На прибрежном подводном склоне обнаружено слабо возрастающее и относительно небольшое содержание частиц МП (в среднем 286 шт./кг сухого веса). В промежуточных слоях (глубина 20–80 м) оно увеличивается до 568 шт./кг сухого веса, достигая средних значений 1359 шт./кг сухого веса ниже пикноклина.

По форме, около 75 % частиц МП составляют волокна, за ними следуют пленки (20 %) и фрагменты (5 %). Обнаружена статистически значимая корреляция между глубиной воды и содержанием волокон; это доказывает, что глубокое море является зоной аккумуляции синтетических волокон.

Корреляция между общим содержанием частиц МП и типом отложений незначима, что подчеркивает различное динамическое поведение частиц МП и зерен донных отложений в естественной морской среде. Более того, распределения волокон, фрагментов, пленок, как и песков, илов и других типов донных отложений существенно различаются и между собой.

Результаты анализа позволяют предполагать, что для адекватного описания картины распределения частиц МП в донных осадках «МП в целом» следует подразделить на несколько подтипов в соответствии с их конкретным поведением при переносе / накоплении в морской среде. Распределение волокон оказалось возможно охарактеризовать в терминах зон эрозии / транзита / накопления, применяемых для тонких фракций естественного осадка; при этом, однако, в Балтийском море границы между зонами для волокон не совпадают с границами зон для естественных осадков тонких фракций. Распределение фрагментов и пленок в донных отложениях не показало корреляции ни с естественными отложениями, ни с волокнами.

Таким образом, частицы МП можно считать специфическим осадком антропогенного происхождения, описание распределения которого на морском дне не только отличается от распределения естественных осадков, но и требует его разделения на «фракции» (подобно фракциям естественного осадка). Волокна являются одной из таких «фракций МП», проявляя вполне характерную картину накопления. Но по каким параметрам сортируются остальные виды частиц МП при их аккумуляции на морском дне – по нашим данным установить не удалось.

Сбор экспедиционных данных выполняется в рамках госзадания ИО РАН (тема № 0128-2021-0012). Анализ данных проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 19-05-00717).

ИСКАЖЕНИЕ МАСШТАБОВ ПРИ ФИЗИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ МОРСКИХ ВОЛН НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

Шелушинин Ю.А.

СГУ, г. Сочи, Россия
НИЦ «Морские берега», г. Сочи
9117875@mail.ru

Ключевые слова: физическое моделирование, искажение масштаба, гидротехническое сооружение.

В мировой практике при физическом моделировании ветрового волнения всегда используется приближенное динамическое подобие в той или иной степени. Для обеспечения полного динамического подобия требуется создавать модель с натурными габаритами, поэтому для уменьшения модели приходится пренебрегать наименее значимыми условиями подобия, принимая допущения и степень приближения, при которой достоверность получаемых данных будет достаточной.

Физические модели с искаженным масштабом также используются в качестве некого приближения, на которое необходимо

пойти для достижения определенных целей. Чтобы такое приближение отвечало целям исследования требуется обеспечить и обосновать соответствие модельных процессов натурным. Приближение будет лишено практического смысла, если на исследуемые сооружения начнет воздействовать новый режим волнения, не имеющий обоснованного соответствия натурным процессам.

В современной научной практике искажение масштаба затрагивает только рельеф и сооружения. При этом в модельной акватории с измененным рельефом воспроизводится волнение без какого-либо преобразования. Волнение по-разному взаимодействует с разными формами рельефа, и раз уж мы допускаем изменение подводного рельефа при искажении масштаба, то требуется рассмотреть и вопрос преобразования исходного волнения на физической модели.

При искажении масштаба физической модели, для которой характерны процессы рефракции и трансформации волн, возникающие погрешности обусловлены изменением двух основных параметров: уклона подводного рельефа по линии прохождения волн и угла подхода волн к подводному склону. В случае физического моделирования дифракции волн появляется еще два дополнительных параметра, изменение которых при искажении определяет возникающие погрешности – это ширина входного створа огражденной акватории и расстояния до расчетных точек. Изменение данных параметров при искажении ожидаемо сказывается на режиме волнения, который искажение масштаба не затронуло.

Искажение масштаба в каждом случае оказывает уникальное влияние на получаемые результаты. Эффект от искажения обусловлен конкретной формой рельефа, осью и степенью искажения, параметрами волнения и выбранными расчетными точками. Важной проблемой в настоящее время является то, что при искажении реалистичного криволинейного рельефа погрешности для разных расчетных точек могут существенно различаться.

Вопрос преобразования параметров исходного волнения для искаженных физических моделей рассмотрен при помощи математического моделирования. Полученные данные проверялись на физических моделях, созданных на базе ОП АО ЦНИИТС НИЦ «Морские берега».

Преобразование параметров исходного волнения при искажении масштаба физической модели производилось на основе данных о возникающих погрешностях. При этом обеспечивалось сохранение пологости подходящих волн и соответствие картин рефракции и дифракции в модельной и натурной акватории.

Рассматриваемый подход в ряде случаев позволяет повысить соответствие данных искаженного моделирования натурным условиям, упростить возникающие погрешности, сделав их более понятными и предсказуемыми, а также уравновесить величину погрешностей для разных расчетных точек.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90009.

КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ТОРИЯ-234 ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПОТОКОВ ВЗВЕШЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА

Шибецкая Ю.Г.[1,2], Бежин Н.А.[1,2], Кременчуцкий Д.А.[1], Довгий И.И.[1,2]

[1]МГИ, г. Севастополь, Россия
[2]СевГУ, г. Севастополь, Россия
garaldaaa@gmail.com

Ключевые слова: ^{234}Th, морская вода, потоки взвешенного углерода.

^{234}Th является короткоживущим изотопом ($T_{1/2}$ = 24,1 дня) и дочерним продуктом распада ^{238}U ($T_{1/2} = 4{,}47 \cdot 10^9$ лет). Концентрация ^{238}U в морской воде линейно зависит от солености и рассчитывается по установленным зависимостям.

Один из современных радиотрассерных методов изучения потоков взвешенного органического углерода в морской воде основан на измерении нарушения равновесия между ^{238}U и ^{234}Th. ^{238}U находится в морской воде в растворенной форме, а ^{234}Th частично адсорбируется на взвешенном веществе и осаждается с ним.

Для концентрирования ^{234}Th используются сорбционные и осадительные методы. В нашей работе мы использовали сорбционный метод концентрирования. Пробы морской воды объемом 1 м^3 отбирались в ходе 106-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» (18 апреля – 13 мая 2019 г.) погружным насосом. ^{234}Th сорбировали волокном на основе диоксида марганца, волокно золили, золу измеряли γ-спектрометрически.

Полученные результаты показали, что эффективность сорбции ^{234}Th из морской воды составляла 84 ± 2%.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Севастопольского государственного университета, идентификатор проекта 42-01-09/169/2021-7 и государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации («Океанологические процессы» № 0555-2021-0004).

ФЛЮКТОМЕТР С. О. МАКАРОВА: ПРИБОР, С КОТОРОГО НАЧАЛАСЬ НАУКА О ПРОЛИВАХ

Шик Н.В.

Севастопольский центр туризма, краеведения, спорта и экскурсий, г. Севастополь, Россия
shik.n@bk.ru

Ключевые слова: флюктометр, батометр, С.О. Макаров, противотечения в проливах, Босфор.

Осенью 2021 года исполняется 140-я годовщина одного из весьма значимых научных событий XIX века - открытие противотечения пролива Босфор, которое положило начало учению о проливах. Это открытие принадлежит нашему великому соотечественнику – ученому, флотоводцу, изобретателю, путешественнику-географу С.О. Макарову (1848–1904 гг.). В фондах Межшкольного краеведческого музея им. Е.Н Овена, который является структурным подразделением Севастопольского центра туризма, краеведения, спорта и экскурсий учащейся молодежи хранится флюктометр С.О. Макарова, с помощью которого было

сделано данное открытие. Он является прообразом современных приборов-вертушек. Название «флюктометр» дал лично Степан Осипович, отталкиваясь от латинского слова fluctuatio — «колебание», подразумевая под эти колебательное движение жидкостей. История открытия противотечения в пролив Босфор достаточно хорошо описана в литературе по истории науки. Хочется подчеркнуть, что назначение его командиром колесного парохода-стационара «Тамань» (2 (14) ноября 1881 г.), находящегося в подчинении посла России в Турции, рассматривалась начальством Макарова, как отпуск после напряженной деятельности накануне. И вот, будучи командиром корабля, стоящим на рейде Константинополя, С.О. Макарова, ученый-исследователь по природе (первую научную статью он написал в 17 лет!), по своей инициативе занялся исследованием течений в Босфоре. Решив узнать скорость уже давно известного Босфорского течения, он опустил со шлюпки несколько бочек, игравших роль подводного паруса, на некоторую глубину. К его удивлению, бочки-«паруса» понесли шлюпки против течения. Так были открыто явление противотечения в проливах. Степан Осипович решил получить исчерпывающие знания об этом явлении. Как он сам писал: «Когда сделалось очевидным, что граница эта идет по длине Босфора не горизонтально, а с некоторым наклонением к Черному морю, захотелось выяснить этот наклон, наконец, захотелось выяснить подмеченные колебания границы между течениями в зависимости от времени года и дня, от направления ветра и проч. Было интересно определить относительную скорость течения на разных глубинах и распределение воды по удельному весу». Для этого требовался точный прибор. Этим прибором и стал наш флюктометр. Разработка его конструкции, подбор материалов полностью принадлежит Макарову. Научный прибор был изготовлен непосредственно в ходе исследования, вероятно, на корабле. Принцип его действия основан на повороте лопастей вертушки (принимающая информацию часть прибора) под действием течения воды. Каждый поворот лопастей сопровождается ударом колокола (передатчик информации). Звук колокола фиксировался матросом-наблюдателем, прислонившимся ухом к борту корабля.

В течение десяти месяцев пребывания Макарова в Константинополе ему удалось, втайне от турецкой полиции, произвести 4000 определений температуры и солености воды на различных глубинах в проливе Босфор и около 1000 измерений скорости течения. Весьма вероятно, что данные по солености и температуре он получал с помощью батометра, который Степан Осипович также лично разработал борту корабля «Тамань» осенью 1881 г. В нашем музее он значится, как «Батометр Макарова». Так было сделано одно из замечательных открытий, заставивших ученых всего мира искать и находить в проливах и морях планеты противотечения. Заслуга Макарова не только в том, что он доказал наличие такого подводного течения, но и объяснил причину данного явления, определил скорость течения на разных глубинах, температуру и плотность воды. Таким образом, мы вправе считать, что началом нового направления океанологической науки послужила работа С. О. Макарова «Об обмене вод Черного и Средиземного морей», напечатанное в «Записках Академии наук» в 1885 г. За этот труд Макаров был принят в действительные члены Географического общества.

Уникальные приборы (флюктометр и батометр Макарова) были переданы в дар Межшкольному краеведческому музею сотрудниками Гидрографической службы Черноморского флота СССР в конце 60-х годов XX века. История появления этого прибора – важная веха в истории отечественной и мировой океанологии.

СПАСЕНИЕ МИРОВОГО ОКЕАНА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ – ГЛОБАЛЬНАЯ ЗАДАЧА СОВРЕМЕННОСТИ

Эль Н.Ю.

СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
n_el98@mail.ru

Ключевые слова: Мировой океан, глобальная проблема, цели устойчивого развития, международное сотрудничество, загрязнение.

Критический уровень загрязнения Мирового океана и неуклонно возрастающий кризис его экосистем ярко свидетельствует о важности координации усилий глобального сообщества для решения этой проблемы. Учитывая масштабы проблемы, политические, финансовые и институциональные издержки, действия внутри стран часто носят фрагментарный и непостоянный характер, не принося результатов с необходимой на сегодняшний день срочностью и интенсивностью.

Анализ существующего межгосударственного сотрудничества в рамках данной проблемы выявляет отсутствие единой программы, что в ситуации уже зафиксированных масштабных климатических изменений вызывает серьезную тревогу за жизнь будущих поколений и судьбу животного мира.

Сохранение морских систем является одной из Целей устойчивого развития (ЦУР) ООН, что подразумевает взаимодействие между странами по вопросам предупреждения загрязнения Мирового океана, сохранения его биоразнообразия и сокращения масштабов сбросов загрязняющих веществ.

На сегодняшний день реализация ЦУР, связанных с охраной морских экосистем, препятствует недостаточно разработанная система сбора, анализа и оценки информации, поступающей от ведомств разных стран. В таких реалиях возможность эффективных совместных действий на глобальном уровне фактически сводится только к выборочному взаимодействию стран в рамках отдельных регионов.

По этой причине, существует острая потребность в координации информационного взаимодействия при осуществлении морских научно-исследовательских программ. Немаловажную роль также играет оперативное предоставление как новых, так и полученных ранее научных данных в распоряжение директивных органов и институтов, определяющих политику в контексте достижения ЦУР и в более широком масштабе.

Более того, всем современным государствам и другим заинтересованным сторонам в срочном порядке необходимо взять курс на укрепление сотрудничества и оптимизации усилий по спасению Мирового океана от загрязнений, чтобы обеспечить устойчивое будущее его обитателей и всего человечества.

ЛИТОДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЮЖНОГО САХАЛИНА

Ярославцев Н.А.

НИЦ «Морские берега», г. Сочи, Россия
mor-berega@tsniis.com

Ключевые слова: абразия берега, вдольбереговой поток наносов, литодинамическая система, наносообмен, пляжеобразующий материал.

Протяженность восточного берега южного Сахалина от м. Терпения до м. Анива составляет 600 км и здесь можно выделить четыре литодинамические системы. Первая система начинается от м. Георгия, расположенного в шести км к юго-западу от м. Терпения и простирается до вершины залива Терпения в 28 км восточнее г. Поронайск. Протяженность этой литодинамической системы 129 км.

Вторая литодинамическая система протяженностью 260 км расположена на участке от мыса, не имеющего названия, расположенного восточнее пос. Стародубское до вершины залива Терпения. Пляжевый материал двух встречных потоков мигрирует вдоль всей береговой дуги вершины залива от устья р. Гастелловки до м. Сигнального протяженностью 92 км.

Третья литодинамическая система начинается от м. Сенявина и заканчивается на м. Свободный. Протяженность этой литодинамической системы 93 км. Десятикилометровый фрагмент берега от мыса восточнее пос. Стародубское до м. Сенявина является зоной дивергенции вдольбереговых потоков второй и третьей литодинамических систем.

Четвертая литодинамическая система протяженностью 50 км расположена на участке берега от м. Свободный до м. Анива.

Литодинамические системы выделены по вдольбереговым потокам наносов, полученным по особенностям волнового режима, опубликованным результатам исследований морфологии и литодинамики надводной части пляжа на участке Стародубское - м. Муловского и космических снимков береговой полосы с учетом контура берега.

По пробам отложений пляжа шириной 350 м южнее м. Муловского в 1971 г. было установлено, что на урезе материал на 79 % представлен мелкозернистым песком, а в средней и верхней зонах пляжа – среднезернистым песком. Содержание гравия в пробах не превышало 1,7 %.

Основная часть вдольберегового потока песчаного материала проходит в береговой зоне до глубины первого обрушения волн (10–12 м). Мелкие фракции пляжеобразующего материала (0,25–0,05 мм) перемещаются вдоль берега в пределах зоны трансформации волн (50–70 м).

Основной особенностью первой литодинамической системы является формирование вдольберегового потока и пляжа только из материала абразии берега. В пределах узкой части полуострова Терпения рек нет, а в широкой части их много, но все они впадают в лагуны, отделенные от моря песчаными барами.

Во второй литодинамической системе вдольбереговой поток, направленный на север к вершине залива Терпения, формируется из материала выносов рек и материала абразии берега. Транспортирующая способность волн на участке от пос. Стародубского до г. Макаров возрастает за счет снижения встречных миграций наносов от волн северного и северо-восточного направлений. Полного насыщения поток наносов достигает только на подходе к м. Нитуй, сформированному из выносов одноименной реки. С этого участка начинается сплошная широкая полоса надводной части пляжа, которая продолжается в пределах всей береговой дуги вершины залива Терпения, являющейся зоной конвергенции потоков наносов первой и второй литодинамических систем.

В третьей литодинамической системе вдольбереговой поток направлен от м. Сенявина к м. Свободному и формируется он из выносов рек и материала абразии берега. Материал вдольберегового потока аккумулируется перед м. Свободным в бухте Мордвинова. В четвертой литодинамической системе поток наносов направлен в сторону м. Анива на мелководье которого аккумулируется.

Наносообмен между второй и третьей, а также между третьей и четвертой литодинамическими системами незначителен в силу особенностей рельефа и волнового режима.

COSMO-CHEMICAL ORIGIN OF WATER AND OCEAN ON THE EARLIEST EARTH

Сергин С.Я.

Филиал РГГМУ, г. Туапсе, Россия
s.sergin@bk.ru

Ключевые слова: Earth' water, Earth' ocean, cosmochemical origin of the water, waters on the near planets.

Many hypotheses are devoted to genesis of water and ocean on the Earth. However they can't explain some important facts, in particular, the early formation (4–4.5 billion years ago) of global hydrosphere. The big task of the Earth science is constructing a realistic hypothesis on this problem.

Here we take in consideration that accretion of proto-earth cloud was accompanied by transformations of initial gas-dust matter. On astrophysical data the main component of the cloud was hydrogen: more than 90% of its composition (Dischock et al., 2014). Redox reactions of H_2 with oxides inevitably led to the formation of water. Three such reactions, in large variety of ones, are recorded below.

$$Fe_2SiO_4 + 2H_2 \rightarrow 2Fe + SiO_2 + 2H_2O - 85040\ J \quad (1)$$

$$NiFe_2O_4 + 4H_2 \rightarrow Ni + 2Fe + 4H_2O - 108690\ J \quad (2)$$

$$SO_2 + 2H_2 \rightarrow S + 2H_2O + 186810\ J \quad (3)$$

The origination of water from silicates and oxides of iron, nickel, titanium, magnesium and other metals needs in large energy input. Oxides of sulfur, carbon, nitrogen and other "atmospheric" gases react with H_2 exothermally and are favorable for the generation of H_2O. However, their content in the cloud was insignificant (Voitkevich, 1986).

The water mass of modern hydrosphere is $(1.5–1.6)\cdot10^{24}$ g). If arisen of H_2O needs to specific heat consumption as in (1) and (2), the total energy consumption for the waters is $(2–3)\cdot10^{27}$J. The collapsing of proto-earth cloud was accompanied by transformation of gravitational energy into thermal one in the amount of $(2\text{-}3)\cdot10^{32}$J (Sorokhtin et al., 2010). Thus, the water generation was fully supplied by energy. Geological data confirms the theoretical outgoings: at the earliest Archean the planet was partially melted (Abe, 1993). Reaction's of

(1) and (2) types were facilitated, according to Le Chatelier principle, by removal from the active zone of final products (metals - to cloud middle and water - to it periphery).

According to geochemical data, the proportion of iron in the Earth is 30–37 %. This metal is located mainly in the planet core. From equations like (2) one can see, if all core was formed from metal oxides, the hydrosphere would be contain about 10% of the Earth mass. In fact, it include only 0.025 % of the planet matter. Therefore, a very small amount of iron oxides was arrived the Earth core. The main mass of iron was in a free state and did not participate in the generation of water.

Thus, the formation of water was provided by resources of the initial substances and energy. The generation of water was an integral part of planet's genesis and stopped at the end of the Earth accretion. As a result, the mass of water and the volume of the ocean were greatest at beginning of the geological stage of the Earth development (Sergin, 2014, 2016). Given this, there is no need to speculate about other sources of water. But we will not deny that free water of the proto-terrestrial cloud given some contribution to the hydrosphere.

From cosmology concepts we have arguments that accretional formation of the near planets were mutually similar. In this case, the Mercury, Venus, Moon and Mars had atmospheres with a large amount of water vapor. There are reasons to believe that Mercury and Venus could not have any hydrosphere. In contrast, the Moon and Mars had a hydrosphere with oceans. Then both planets lost the main reserves of their waters. However, some volumes could remain in the rocks in the form of underground ice and water. This theoretical position corresponds to experimental fact the presence of ice and water on the Moon and Mars. In general, there are grounds for the following conclusions:

1) main source of water on the Earth was the redox reactions of hydrogen with metal oxides in proto-planetary cloud;

2) geological and geographical evolution of the Earth began at conditions with complete marine surface of the planet, when mass of hydrosphere exceeded the modern one;

3) processes of water generation on the near planets were mutually similar, but the history of their waters inevitably turned out to be different.

ПЕРЕЧЕНЬ ОРГАНИЗАЦИЙ

ААНИИ – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт», г. Санкт-Петербург.

АГУ – Абхазский государственный университет, г. Сухум.

АзНИИРХ – Азово-Черноморский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Ростов-на-Дону.

АНЦ – Общество с ограниченной ответственностью «Арктический научно-проектный центр шельфовых разработок», г. Москва.

АО «Завод “Фиолент”», г. Симферополь.

АО «Концерн «Океанприбор», г. Санкт-Петербург, Россия

АО "Концерн «ЦНИИ „Электроприбор“»", г. Санкт-Петербург.

АтлантНИРО – Атлантическое отделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Калининград.

БФУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград.

ВНИИГМИ-МЦД – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных», г. Обнинск.

ВНИИ ГОЧС – Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (Федеральный центр науки и высоких технологий), г. Москва.

ВНИРО – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Москва.

ВСЕГЕИ – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследователь-ский геологический институт им. А.П. Карпинского», г. Санкт-Петербург.

ГАИШ МГУ – Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, МГУ, г. Москва.

ГГО – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова», г. Санкт-Петербург.

ГЕОХИ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции «Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук», г. Москва.

Гидрометцентр России – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации», г. Москва.

ГОИН – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова», г. Москва.

ДальНИИВХ – Дальневосточный филиал ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», г. Владивосток.

ДВФУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток.

ЕрмакСЗ – Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский проектный институт аквa-территориального планирования Ермак северо-запад», г. Санкт-Петербург.

ИАЭТ СО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт археологии и этнографии

Сибирского отделения Российской Академии наук», г. Новосибирск.

ИБРАЭ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук», г. Москва.

ИВМ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт вычислительной математики Российской академии наук», г. Москва.

ИВП – Институт Водных проблем РАН, г. Москва.

ИВПС КарНЦ РАН – Институт водных проблем Севера Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр Карельский научный центр Российской академии наук», г. Петрозаводск.

ИКИ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт космических исследований Российской академии наук», г. Москва.

ИМЗ СО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук», г. Якутск.

ИнБЮМ – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь.

ИНГГ СО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук», г. Новосибирск.

ИО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук», г. Москва.

ИПМ РАН – Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт

прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук».

ИПМех РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук», г. Москва.

ИППЭС КНЦ РАН – Институт проблем промышленной экологии Севера Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», г. Апатиты.

ИПТС – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт природно-технических систем», г. Севастополь.

ИПРЭ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем региональной экономики Российской академии наук», г. Санкт-Петербург.

ИПФ РАН – Федеральный исследовательский центр «Институт прикладной физики Российской Академии наук», г. Нижний Новгород.

ИФА РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук», г. Москва.

ИФЗ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва.

ИЭАНА – Институт Экологии Академии Наук Абхазии, г. Сухум, Республика Абхазия.

ИЭ КарНЦ РАН – Институт экономики Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск.

КамчатНИРО – Камчатский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Петропавловск-Камчатский.

КаспМНИЦ – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Каспийский морской научно-исследовательский центр», г. Астрахань.

КГНЦ – Федеральное государственное унитарное предприятие «Крыловский государственный научный центр», г. Санкт-Петербург.

КГТУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет», г. Калининград.

КубГУ – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный университет», г. Краснодар.

КФ ГМУ – Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова», г. Севастополь.

КФУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», г. Симферополь.

МАГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Мурманский арктический государственный университет», г. Мурманск.

МГИ – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН», г. Севастополь.

МГИМО – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации», г. Москва.

МГРИ-РГГРУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», г. Москва.

МГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», г. Москва.

ММБИ – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Мурманский морской биологический институт Российской академии наук», г. Мурманск.

ММО – Федеральное государственное бюджетное учреждение культуры «Музей Мирового океана», г. Калининград.

НИИ «АЭРОКОСМОС» – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга "АЭРОКОСМОС" Министерства науки и высшего образования и Российской Федерации под научно-методическим руководством Российской академии наук», г. Москва.

НИУ ВШЭ – Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, г. Москва.

НИУ МГСУ – Национальный исследовательский университет «Московский государственный строительный университет», г. Москва.

НИЦ «Морские берега» – Обособленное подразделение Акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт транспортного строительства» «Научно-исследовательский центр «Морские берега», г. Сочи.

НУНИМБЦ – Новороссийский учебный и научно-исследовательский морской биологический центр, г. Новороссийск.

ОАО ««Консорциум «Космическая регата», г. Королёв Московской области.

ООО «Марлин-Юг», Ростовская обл, п. Матвеев-Курган.

ООО «Нав Девелопмент Ко», г. Санкт-Петербург.

ПАЭИ – Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь.

РГГМУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург.

РГГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный гуманитарный университет», г. Москва.

РГПУ им. А. И. Герцена – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена», г. Санкт-Петербург.

РосИНИВХЦ – ФГБУ «Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр», г. Ростов-на-Дону.

РосНИИВХ – ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Дальневосточный филиал, г. Владивосток.

РТУ МИРЭА – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва.

Самарский университет – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара.

СГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Высшего образования «Сочинский государственный университет», г. Сочи.

Севастопольский центр туризма, краеведения, спорта и экскурсий – государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного образования города Севастополя «Севастопольский центр туризма, краеведения, спорта и экскурсий учащейся молодежи», г. Севастополь.

СевГУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение Высшего образования «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.

СО ГОИН – Севастопольское отделение Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова», г. Севастополь.

СОФАГ ОНЗ РАН – Секция океанологии, физики атмосферы и географии Отделения наук о Земле Российской академии наук.

СПбГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург.

ТИНРО – Тихоокеанский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Владивосток.

ТОИ ДВО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук», г. Владивосток.

УлГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный университет», г. Ульяновск.

Филиал ГМУ – Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова» в г. Севастополь, г. Севастополь

Филиал МГУ в г. Севастополе – Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова в г. Севастополе, г. Севастополь.

Филиал РГГМУ в г. Туапсе – Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет» в г. Туапсе Краснодарского края, г. Туапсе.

Фонд «Нансен-центр» – Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», г. Санкт-Петербург.

Херсонес Таврический – Федеральное государственное бюджетное учреждение культуры «Государственный историко-археологический музей-заповедник «Херсонес Таврический», г. Севастополь.

ЦМИ МГУ – ООО «Центр морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова», г. Москва.

ЦНИИ «Электроприбор» – Открытое акционерное общество «Концерн «Центральный научно-исследовательский институт «Электроприбор», г. Санкт-Петербург.

ЭКОПРОЕКТ – Закрытое акционерное общество «Агентство экологического консалтинга и природоохранного проектирования», г. Санкт-Петербург.

ЮНЦ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук», г. Ростов-на-Дону.

ЮФУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону.

AWI – Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера (нем. Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, AWI), г. Бремерхафен, Германия.

ENS de Lyon (École normale supérieure de Lyon) – Высшая нормальная школа Лиона, г. Лион, Франция.

IFREMER (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer) – Институт изучения и освоения моря, г. Брест, Франция.

NIVA – Норвежский институт водных исследований, г. Осло, Норвегия.

VNIO – Institute of Oceanography, Vietnam Academy of Science and Technology, Nha Trang, Vietnam.

Работы сотрудников ФГБУН ФИЦ МГИ, представленные на конференции, полностью или частично выполнены в рамках тем государственного задания на 2021 г. № 0555-2021-0002, № 0555-2021-0003, № 0555-2021-0004, № 0555-2021-0005, № 0555-2021-0006, № 0555-2021-0007.

Научное издание

Моря России: Год науки и технологий в РФ – Десятилетие наук об океане ООН

Подписано в печать 20.08.2021. Формат 60×84 1/6. Тираж 200 экз. Заказ 16.

СРОО «Дом солнца». 299020, Севастополь, ул. Хрусталева, 143, тел. +(8692) 65-60-11.