

МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СЕКЦИЯ ОКЕАНОЛОГИИ, ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ И
ГЕОГРАФИИ ОТДЕЛЕНИЯ НАУК О ЗЕМЛЕ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

РОССИЙСКИЙ ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



Российская Академия Наук



ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

МИРОВОЙ ОКЕАН:
МОДЕЛИ, ДАННЫЕ И
ОПЕРАТИВНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ



г. Севастополь
26 – 30 сентября 2016 г.

**МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**СЕКЦИЯ ОКЕАНОЛОГИИ, ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ
И ГЕОГРАФИИ ОТДЕЛЕНИЯ НАУК О ЗЕМЛЕ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**РОССИЙСКИЙ ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**МИРОВОЙ ОКЕАН:
МОДЕЛИ, ДАННЫЕ И
ОПЕРАТИВНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ**

**г. Севастополь
26 – 30 сентября 2016 г.**

Мировой океан: модели, данные и оперативная океанология
/ Тезисы докладов научной конференции. – г. Севастополь, 26 –
30 сентября 2016 г. – Севастополь: ФГБУН МГИ, 2016. – 190 с.

В сборнике представлены тезисы докладов научной конференции «Мировой океан: модели, данные и оперативная океанология». Основной целью конференции является обсуждение современных методов математического моделирования океанических процессов, возможностей и перспектив интегрирования информационных продуктов, предоставляемых современными системами спутникового и контактного мониторинга, вычислительных технологий и алгоритмов системы анализа и прогноза состояния гидрофизических полей Мирового океана высокого пространственного разрешения и методов ассимиляции данных.

Научная конференция «Мировой океан: модели, данные и оперативная океанология» проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта №16-05-20410 Г.

Редколлегия: чл.-корр. НАНУ, д. геогр. н. *Коновалов С.К.*;
чл.-корр. НАНУ, д. ф.-м. н., профессор *Кортаев Г.К.*;
чл.-корр. РАН, д. ф.-м. н. *Ибраев Р.А.*;
д. ф.-м. н. *Демьшев С.Г.*;
д. ф.-м. н., профессор *Кныш В.В.*;
д. ф.-м. н. *Кубряков А.И.*;
к. ф.-м. н. *Алексеев Д.В.*;
к. ф.-м. н. *Мизюк А.И.*

© Коллектив авторов, 2016
© ФГБУН МГИ, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Академик Артем Саркисович Саркисян..... 17

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Бондур В.Г.</i> Космический мониторинг океана.....	21
<i>Фролов А.В.</i> К будущей бесшовной системе прогнозирования погоды и климата	22
<i>Матишов Г.Г.</i> Влияние адвекции Атлантических вод на европейские моря России	23
<i>Нигматулин Р.И.</i> Климат и океан в масштабах десятилетий ...	24
<i>Вильфанд Р.М., Киктёв Д.Б.</i> Прогноз погоды с усвоением спутниковых и фактических данных.....	25
<i>Филатов Н.Н.</i> Синтез моделирования и наблюдений для диагноза и прогноза изменений термогидродинамики и экосистем внутренних водоемов.....	27
<i>Фролов И.Е., Тимохов Л.А.</i> Трансполярная система Северного Ледовитого океана	28
<i>Коротаев Г.К.</i> Оперативные модели и морские прогнозы	29
<i>Саркисян А.С.</i> О необходимости создания Серий Океанографических Климатических Расчётных Атласов (СОКРАТ)	30
<i>Кныш В.В.</i> Методика восстановления и ассимиляция в модели трехмерных полей температуры и солёности Черного моря по данным альтиметрии и измерений буев Argo.....	31
<i>Ибраев Р.А.</i> Модель Мирового океана	32
<i>Семенов Е.В., Оноприенко В.А.</i> Постановка задачи оперативной океанологии для ограниченных морских акваторий.....	33
<i>Демышев С.Г.</i> Анализ структуры прибрежной циркуляции в Черном море на основе численных расчетов с высоким пространственным разрешением	34

СЕКЦИЯ 1 «МОДЕЛИ. МЕТОДЫ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

- Дианский Н.А.* Вихреразрешающее моделирование циркуляции Северной Атлантики и оценка влияния бароклинной стратификации плотности на ширину Гольфстрима 36
- Фадеев Р.Ю., Ушаков К.В., Толстых М.А., Ибраев Р.А., Калмыков В.В.* Совместная модель атмосферы и океана ПЛАВ-ИВМИО для бесшовного прогноза погоды и моделирования изменений климата 37
- Сендеров М.В., Мизюк А.И., Коротаев Г.К.* Влияние начальных условий на вертикальное распределение солености в Черном море в задаче «сотворения мира» 38
- Степанов Д.В., Дианский Н.А., Новотрясов В.В., Гусев А.В.* Численное моделирование циркуляции вод Японского моря и ее климатической изменчивости во второй половине XX века 39
- Дымова О.А., Демьшев С.Г.* Численное моделирование динамики и энергетики гидрофизических полей Черного моря с разрешением субмезомасштабной и мезомасштабной изменчивости 40
- Пономарев В.И., Файман П.А., Дубина В.А., Машкина И.В., Будянский М.В., Улейский М.Ю., Пранц С.В.* Разномасштабная циркуляция в северных районах Японского и Охотского морей по данным наблюдений и результатам моделирования 41
- Багаев А.В., Демьшев С.Г., Маркова Н.В.* Глубинная циркуляция Черного моря: численное моделирование и данные дрейфующих буев 42
- Павлушин А.А., Коротаев Г.К., Шатирио Н.Б., Михайлова Э.Н.* Исследование механизмов формирования крупномасштабной циркуляции и вихревых структур в Черном море 44
- Головизнин В.М.* О регуляризации численных решений уравнений двухслойной мелкой воды 45

<i>Гусяков В.К.</i> Цунами в Мировом океане: проблемы параметризации и интерпретации данных наблюдений	46
<i>Базыкина А.Ю., Доценко С.Ф., Ингеров А.В.</i> Особенности распространения волн типа цунами в прибрежной зоне Черного моря	47
<i>Гусяков В.К., Чубаров Л.Б., Никонов А.А., Ландер А.В., Бейзель С.А.</i> Оценка цунамиопасности черноморского побережья России на основе исторических данных и численного моделирования	48
<i>Сабурин Д.С., Елизарова Т.Г.</i> Численное моделирование сейшевых колебаний в Азовском море с использованием сглаженных уравнений гидродинамики.....	49
<i>Кубряков А.И.</i> Система тренингов по моделированию циркуляции в бассейне Черного моря	50
<i>Манилюк Ю.В., Черкесов Л.В.</i> Сейшевые колебания в морском бассейне с открытым входом	51

СЕКЦИЯ 2 «ФИЗИКА ОКЕАНА. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА»

<i>Ефимов В.В.</i> Мезомасштабные процессы в атмосфере Черноморского региона	53
<i>Репина И.А.</i> Экспериментальное исследование взаимодействия атмосферы и океана при различных условиях стратификации	54
<i>Полников В.Г., Погарский Ф.А.</i> Интерпретация формы климатических спектров скорости ветра и высот волнения на масштабах периодов от суток до года	55
<i>Михайлова Н.В., Сизов А.А., Баянкина Т.М.</i> Режимы крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы в Норвежском и Баренцевом морях.....	56
<i>Шокуров М.В.</i> Численное моделирование мезомасштабных атмосферных процессов в Черноморском регионе.....	57

<i>Шокуров М.В., Краевская Н.Ю.</i> Гравитационное течение в однородном потоке воздуха	58
<i>Яковлев Н.Г.</i> Численные модели Северного Ледовитого океана: динамика и термодинамика морского льда, гидротермодинамика океана и неоднородные пограничные слои.....	59
<i>Иванов В.В.</i> Современные изменения в состоянии ледяного покрова Арктики и возможные следствия для других компонент арктической климатической системы	60
<i>Кузин В.И., Платов Г.А., Лаптева Н.А.</i> Оценка влияния стока сибирских рек в XXI веке на баланс пресной воды в Северном Ледовитом океане	61
<i>Букатов А.Е., Букатов А.А., Бабий М.В.</i> Динамика регионального распределения морского льда в Антарктике	62
<i>Пономарев В.И., Дмитриева Е.В., Шкорба С.П., Карнаухов А.А.</i> Изменение планетарного климатического режима на рубеже XX – XXI веков и значительные аномалии осадков в Монголии, на юге Сибири и Дальнем Востоке России	63
<i>Барабанов В.С., Ефимов В.В.</i> Моделирование мезомасштабных холодных аномалий температуры поверхности Черного моря	65
<i>Чухарев А.М.</i> Нестационарное взаимодействие атмосферы и моря на субмезомасштабах.....	66
<i>Родионов А.А., Зимин А.В., Романенков Д.А., Сафрай А.С., Ткаченко И.В.</i> Субмезомасштабные структуры Белого моря: результаты наблюдений и моделирования.....	67
<i>Троицкая Ю.И.</i> Морские брызги при сильных ветрах: механизмы генерации и роль в энергетике ураганов.....	68
<i>Мизюк А.И., Сендеров М.В., Кубряков А.А.</i> Идентификация мезомасштабных вихрей по результатам численного моделирования циркуляции Черного моря в 2005 – 2006 гг. ...	69

<i>Ратнер Ю.Б., Кортаев Г.К.</i> Особенности теплообмена между Черным морем и атмосферой в зимние сезоны 1971 – 1991 годов	70
<i>Мельников В.А.</i> Волновой подъем вод над Срединно-Атлантическим хребтом в районе Азорского фронта.....	71
<i>Баянкина Т.М., Сизов А.А., Михайлова Н.В., Юровский А.В.</i> Зимние гидрометеорологические характеристики поверхности Черного моря в разные фазы Северо-Атлантического колебания.....	73
<i>Кубряков А.А., Багаев А.В., Станичный С.В., Белокопытов В.Н.</i> Термохалинная и динамическая структура синоптических вихрей Черного моря.....	74
<i>Инжебейкин Ю.И.</i> Вклад мелкомасштабных и мезомасштабных движений в динамику вод Азовского и Черного морей.....	75
<i>Кубрякова Е.А., Кубряков А.А.</i> Массо- и солеобмен между центром и периферией Черного моря, вызванный изменчивостью крупномасштабной динамики.....	76
<i>Щука С.А., Rak D., Соловьев В.А., Staśkiewicz A.</i> Исследование динамики термохалинного режима в Балтийском море в период «Большого залива»	77
<i>Ломакин П.Д., Чепыженко А.И., Чепыженко А.А.</i> Растворенное органическое вещество в водах Азовского моря и Керченского пролива на базе оптических наблюдений.....	78

СЕКЦИЯ 3 «ДАННЫЕ НАТУРНЫХ И ДИСТАНЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ. СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ И ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ»

<i>Зацепин А.Г., Куклев С.Б.</i> Постоянно действующий полигон ИО РАН в шельфово-склоновой зоне Черного моря: результаты исследований и перспективы развития.....	80
<i>Ивонин Д.В., Мысленков С.А., Куклев С.Б., Телегин В.А.</i> Система мониторинга ветрового волнения в прибрежной	

зоне Черного моря на основе радиолокации, прямых наблюдений и моделирования	81
<i>Мотыжев С.В., Лунев Е.Г., Толстошеев А.П., Быков Е.М., Безгин А.А., Лисецкий И.В., Юркевич Н.Ю.</i> Развитие национальной наблюдательной сети оперативных наблюдений морских акваторий, включая Арктику	82
<i>Толстошеев А.П., Лунев Е.Г., Мотыжев С.В., Быков Е.М., Безгин А.А.</i> Опыт применения дрейфтерной технологии в исследованиях Арктического региона Мирового океана.....	83
<i>Лунев Е.Г., Мотыжев С.В., Толстошеев А.П., Быков Е.М., Литвиненко С.Р., Юркевич Н.Ю., Воликов М.С.</i> Повышение эффективности дрейфтерных технологий для оперативного контроля морских акваторий	84
<i>Баянкина Т.М., Толстошеев А.П.</i> Базы данных по результатам дрейфтерных экспериментов в Черном море и Арктике	85
<i>Лебедев К.В.</i> Арго-модель исследования глобального океана как синтез наблюдений и численного моделирования	86
<i>Морозов А.Н., Шутов С.А., Зима В.В., Дерюшкин Д.В., Лемешко Е.М., Федоров С.В., Маньковская Е.В.</i> Тонкая структура течений в прибрежных водах Гераклейского полуострова по данным ADCP-измерений 2015 – 2016 гг. (проект «Диагностика»).....	87
<i>Юровский Ю.Ю., Кудрявцев В.Н., Гродский С.А., Шапрон Б.</i> Модель удельной эффективной площади рассеяния морской поверхности в Ка-диапазоне.....	88
<i>Дыкман В.З., Воликов М.С.</i> Методы исследований движения донных наносов в прибрежной области моря	89
<i>Буланов В.А.</i> Распределение пузырьков и особенности акустических характеристик в приповерхностных слоях морской воды.....	90
<i>Свищев С.В.</i> Анализ рядов параметров, определяющих газообмен кислородом	91

<i>Козлов И.Е., Зубкова Е.В., Кудрявцев В.Н.</i> Короткопериодные внутренние волны в Арктике: результаты спутниковых наблюдений и сопоставление с приливными моделями	93
<i>Бондур В.Г., Воробьев В.Е., Замшин В.В.</i> Мониторинг вариаций оптических характеристик морской среды в зонах антропогенных воздействий по многоспектральным космическим изображениям.....	94
<i>Бондур В.Г., Замшин В.В.</i> Мониторинг антропогенных воздействий на прибрежные акватории по космическим радиолокационным изображениям.....	95
<i>Бондур В.Г., Дулов В.А., Мурынин А.Б.</i> Метод исследования спектров морского волнения в широком диапазоне длин волн по спутниковым и контактными данным.....	96
<i>Юровская М.В., Дулов В.А., Козлов И.Е.</i> Прибрежная зона Севастополя на спутниковых снимках высокого разрешения.....	97
<i>Сушкевич Т.А., Стрелков С.А., Максакова С.В.</i> Об отечественных достижениях в теории переноса излучения и моделировании излучения системы «атмосфера – океан»...	99
<i>Чурилова Т.Я., Суслин В.В., Кривенко О.В., Ефимова Т.В., Моисеева Н.А.</i> Биооптические показатели вод в Чёрном море как основа региональных алгоритмов оценки продукционных характеристик вод по спутниковой информации	100
<i>Калинская Д.В., Сакерин С.М., Кабанов Д.М.</i> Анализ оптических характеристик атмосферного аэрозоля за экспедиционный период с 24 мая по 5 июня 2016 года.....	101
<i>Мольков А.А., Калинская Д.В., Капустин И.А., Корчемкина Е.Н., Пелевин В.В., Коновалов Б.В., Беляев Н.А., Соловьев Д.М.</i> О перспективах дистанционной оценки гидробиооптических характеристик вод внутренних пресноводных водоемов по результатам экспедиций на Горьковском водохранилище в 2016 г.	102

<i>Корчемкина Е.Н., Латушкин А.А., Мартынов О.В.</i> Оперативный метод контроля содержания взвеси и растворенного вещества в морской воде по спектральному показателю ослабления направленного света.....	103
<i>Васечкина Е.Ф.</i> Мелкомасштабная пространственная изменчивость планктонных полей: наблюдения и моделирование	104

СЕКЦИЯ 4 «ОПЕРАТИВНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ. МЕТОДЫ АССИМИЛЯЦИИ»

<i>Холод А.Л., Иванчик А.М., Иванчик М.В., Ратнер Ю.Б.</i> Оперативная система диагноза и прогноза состояния Черного моря.....	106
<i>Зеленько А.А., Вильфанд Р.М., Реснянский Ю.Д., Струков Б.С.</i> Изменчивость гидрофизических полей Мирового океана по данным оперативного мониторинга с использованием системы усвоения данных.....	107
<i>Ушаков К.В., Громов И.В., Ибраев Р.А.</i> Опытный прогноз состояния Северного Ледовитого океана с помощью совместной модели динамики океана и морского льда.....	108
<i>Ратнер Ю.Б., Фомин В.В., Иванчик А.М., Иванчик М.В.</i> Система оперативного прогноза волнения Черноморского центра морских прогнозов.....	109
<i>Гранкина Т.Б., Саркисян А.С., Ибраев Р.А., Ушаков К.В.</i> Реконструкция климатической циркуляции Мирового океана методом гидродинамической адаптации	110
<i>Дорофеев В.Л., Сухих Л.И.</i> Реанализ гидрофизических полей Черного моря на основе ассимиляции данных дистанционных измерений	111
<i>Кауркин М.Н., Ибраев Р.А.</i> Технология усвоения данных аэрокосмического мониторинга и измерений буев Арго методом EnOI в модели океана высокого пространственного разрешения.....	113

<i>Михайлова Н.В., Баянкина Т.М., Мотыжьев С.В., Крыль М.В., Толстошеев А.П., Лунев Е.Г.</i> Метод тройной коллокации в задачах валидации продуктов оперативного спутникового мониторинга температуры поверхности Черного моря и результатов численного моделирования	114
<i>Пиотух В.Б., Зацепин А.Г., Мельников В.А., Мысленков С.А.</i> Сопоставление натуральных измерений стационарного ADCP с данными реанализов и модели волнения на гидрофизическом полигоне	115
<i>Григорьев А.В., Зацепин А.Г., Коротяев Г.К., Кубряков А.А., Кубряков А.И., Воронцов А.В., Шановал К.О.</i> Оценки точности моделирования термохалинной структуры и динамики вод северо-восточной части Черного моря в сравнении с данными дистанционных и контактных наблюдений.....	116
<i>Евстигнеева Н.А., Демьшев С.Г.</i> Численный анализ гидрофизических полей в районе северо-западного шельфа и побережья Крыма на основе последовательного анализа данных наблюдений по температуре и солености	117
<i>Бондур В.Г., Иванов В.А., Дулов В.А., Горячкин Ю.Н., Ли М.Е., Кондратьев С.И., Самодуров А.С.</i> Фрагмент экспериментального образца системы мониторинга антропогенных воздействий на шельфовые зоны Крымского полуострова на основе контактных данных.....	118
<i>Белокопытов В.Н., Халиулин А.Х., Ингерев А.В., Годин Е.А.</i> Разработка информационных систем МГИ РАН в рамках международных проектов обмена данными океанографических наблюдений	119
<i>Пинегина Т.К.</i> Разработка базы данных по отложениям цунами	121
<i>Георга-Копулос А.А.</i> Социально-экономические и правовые аспекты создания и внедрения региональной системы оперативной океанографии в Черноморско-Азовском регионе	122

СЕКЦИЯ 5 «КОМПЛЕКСНЫЕ МОДЕЛИ И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ПРОЦЕССЫ»

<i>Тимченко И.Е., Игумнова Е.М.</i> Адаптивные модели эколого-экономических систем прибрежной зоны моря	124
<i>Черкесов Л.В., Шульга Т.Я.</i> Численный анализ природных и техногенных воздействий в прибрежных районах Азовского моря	125
<i>Букатов А.Е., Завьялов Д.Д., Соломаха Т.А.</i> Вязкопластическая модель динамики ледяного покрова в Азовском море	126
<i>Благодатских Д.В., Сороковикова О.С., Дзама Д.В.</i> Моделирование дисперсии радиоактивной примеси в приповерхностном слое океанических течений	127
<i>Сороковикова О.С., Дзама Д.В.</i> Лагранжевая стохастическая модель крупных частиц для моделирования распространения аварийного выброса примеси выше сезонного термоклина с учетом детальной структуры береговой линии	128
<i>Мизюк А.И., Багаев А.В.</i> Транспорт микропластиковых волокон в Балтийском море: результаты численного моделирования	129
<i>Похотелов О.А., Онищенко О.Г.</i> Пылевые дьяволы и водяные струи в атмосфере Земли: генерация и нелинейная эволюция	130
<i>Дьяконов К.Н.</i> Эффект влияния океана на ландшафты экваториально-тропических островов	131

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

СЕКЦИЯ 1 «МОДЕЛИ. МЕТОДЫ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

- Довгая С.В., Демышев С.Г., Шокуров М.В.* Влияние потоков тепла, осадков и испарения на циркуляцию Мраморного моря 133
- Лукьянова А.Н., Залесный В.Б., Иванов В.А.* Численное моделирование динамики Черного моря с учетом основных приливных гармоник..... 134
- Сибгатуллин И.Н., Ерманюк Е.В., Брузе К., Доксуа Т.* Моделирование перемешивания в глубоководном океане с помощью аттракторов внутренних волн 135
- Слепышев А.А., Воротников Д.И.* Вертикальный перенос импульса внутренними волнами..... 136
- Соколов А.Н., Чубаренко Б.В.* Использование принципа местного влияния при моделировании прибрежных гидродинамических процессов в Балтийском море..... 137
- Цыганова М.В., Лемешко Е.М., Рябцев Ю.Н.* Моделирование распространения речных вод на северо-западном шельфе Черного моря при различных ветровых режимах . 138
- Харитоновна Л.В., Алексеев Д.В., Фомин В.В., Иванча Е.В.* Моделирование морфодинамических процессов в прибрежной зоне Крыма..... 139

СЕКЦИЯ 2 «ФИЗИКА ОКЕАНА. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА»

- Архипкин В.С., Пищальник В.М.* Восстановление годового хода термохалинных характеристик и циркуляции вод в прибрежной зоне о. Сахалин..... 141
- Бабий В.И., Бабий М.В.* Оценка скорости эволюции геофизических полей 142

<i>Гармашов А.В., Толокнов Ю.Н., Коровушкин А.И.</i> Ветровое волнение в Каркинитском заливе	143
<i>Горячкин Ю.Н.</i> Апвеллинг у берегов западного Крыма.....	144
<i>Инжебейкин Ю.И.</i> Взаимодействие реки и моря в устьевых экосистемах Западной Арктики	145
<i>Комаровская О.И., Ефимов В.В.</i> Аномалии температуры поверхности Черного моря.....	147
<i>Лемешко Е.Е., Бердников С.В., Лемешко Е.М.</i> Исследование проявлений штормовых нагонов в Азовском море и в дельте реки Дон	148
<i>Ломакин П.Д., Чепыженко А.И., Чепыженко А.А.</i> Особенности циркуляции вод и деформации береговой линии о. Тузла (Керченский пролив) в течение 25 последних лет	149
<i>Михайлова Н.В., Ефимов В.В.</i> Мезомасштабный вихрь как крупномасштабная особенность Новороссийской боры ...	150
<i>Погребной А.Е.</i> Пространственная структура горизонтальных потоков тепла и соли в Черном море.....	151
<i>Сабинин К.Д., Коротаев Г.К.</i> Инерционные колебания в присутствии сдвигового течения	152
<i>Соловьев Д.А.</i> Перспективы изменения судоходности северного морского пути в условиях наблюдаемых климатических изменений	153

СЕКЦИЯ 3 «ДАННЫЕ НАТУРНЫХ И ДИСТАНЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ. СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ И ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ»

<i>Белов С.Ю.</i> О путях повышения эффективности работы систем спутникового мониторинга в коротковолновом диапазоне радиоволн.....	155
<i>Безгин А.А., Дыкман В.З., Лунев Е.Г., Толстошеев А.П., Юркевич Н.Ю.</i> Каналы связи для оперативной передачи данных пользователю с автоматических измерительных платформ	156

<i>Быков Е.М., Мотыжев С.В.</i> Способ и устройство для автоматического развертывания дрейфующего буя с парусом с движущегося судна.....	157
<i>Кузьмичёва Т.Ф.</i> О ледовой изменчивости Аральского моря, выявленной при анализе снимков, полученных со спутников <i>AQUA/TERRA</i> сканирующим радиометром <i>MODIS</i> в 2008 – 2016 гг.....	158
<i>Лебедев К.В.</i> Использование Арго-модели исследования глобального океана (АМИГО) для анализа изменчивости Мирового океана в 2005 – 2015 гг.	159
<i>Лебедев К.В., Курносова М.О., Тараканов Р.Ю.</i> Исследование изменчивости переносов массы и тепла в проливе Дрейка в 2005 – 2015 гг. по данным Арго и численного моделирования.....	160
<i>Семёнов В.В., Мязин В.В., Копытина Н.В.</i> Многоцелевой спектрометрический комплекс.....	161

СЕКЦИЯ 4 «ОПЕРАТИВНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ. МЕТОДЫ АССИМИЛЯЦИИ»

<i>Дорофеев В.Л., Сухих Л.И.</i> Био-реанализ полей Черного моря за 15 летний период (1998 – 2012).....	163
<i>Жук Е.В., Халиулин А.Х., Ингеров А.В., Zodiatis George</i> Возможность интеграции моделей в ГИС «Чёрное море»	164
<i>Иванчик А.М., Иванчик М.В.</i> Пакет программ «CalcMap». Инструменты для автоматического управления процессом вычислений.....	165
<i>Лишаев П.Н.</i> Алгоритм ассимиляции в модели трехмерных полей температуры и солёности Черного моря в условиях, имитирующих оперативный режим диагноза и прогноза.....	166
<i>Михайличенко С.Ю., Гармашов А.В., Фомин В.В.</i> Верификация модели ветрового волнения SWAN по наблюдениям на стационарной океанографической платформе ЧПП РАН.....	167

<i>Цыганов В.А., Мартынов М.В., Инюшина Н.В.</i> Общие ресурсы компьютерной сети МГИ – развитие, разделение доступа, защита	168
---	-----

СЕКЦИЯ 5 «КОМПЛЕКСНЫЕ МОДЕЛИ И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ПРОЦЕССЫ»

<i>Кочергин В.С., Кочергин С.В.</i> Использование метода сопряженных уравнений при идентификации источников загрязнения в Азовском море	170
<i>Кременчуцкий Д.А., Дымова О.А., Батраков Г.Ф., Коновалов С.К.</i> Исследование полей концентрации радионуклидов в Черном море методами численного моделирования на примере бериллия-7 (⁷ Be).....	171
<i>Лазарчук И.П.</i> Картирование биохимических полей в верхнем слое Черного моря методом адаптивного баланса влияний.....	172
<i>Лисютин В.А., Ярошенко А.А., Ластовенко О.Р., Маленко Ж.В.</i> Акустика морских осадков. Современное состояние, проблемы, перспективы.....	173
<i>Лубков А.С.</i> Использование искусственных нейронных сетей для восстановления гидрофизических характеристик в Черном море.....	175
<i>Семёнов В.В., Георга-Копулос А.А.</i> Географо-гидрогеологическая модель и мониторинг водоснабжения и канализации Севастополя и Севастопольской зоны с учётом фильтрата ТБО и негативных и позитивных примеров других областей России и мира с подсчётом убытков и прибыли	176
<i>Слепчук К.А., Хмара Т.В.</i> Использование оптимизационного метода в калибровке биогеохимической модели	177
Перечень сокращений	179
Алфавитный указатель.....	184

АКАДЕМИК АРТЕМ САРКИСОВИЧ САРКИСЯН

Академик Российской академии наук Артем Саркисович Саркисян – выдающийся советский и российский ученый, основоположник численного анализа и прогноза гидрофизических полей. Он внес принципиально важный вклад в теорию океанических течений, оценив роль термохалинного фактора в их формировании и эволюции, что качественным образом изменило подход к исследованию циркуляции в океанах и морях. Теоретический анализ и опыт численных расчетов позволил А.С. Саркисяну сделать вывод о важности совместного эффекта бароклинности и рельефа дна. Особую роль в научном творчестве Артема Саркисовича играли работы, посвященные четырехмерному анализу данных наблюдений, который позволяет изучать реально наблюдаемые особенности течений бароклинного океана.

Артем Саркисович Саркисян родился 23 сентября 1926 года в селе Чартар (Гюне-Калер) Нагорно-Карабахской области Азербайджана, в крестьянской семье.

После окончания в 1950 г. Азербайджанского государственного университета А.С. Саркисян был рекомендован для поступления в аспирантуру АН СССР, где его научным руководителем стал известный ученый член-корреспондент АН СССР Илья Афанасьевич Кибель. Под его руководством А.С. Саркисян подготовил и защитил в 1953 г. кандидатскую диссертацию на тему «Расчет морских течений».

В 1966 г. А.С. Саркисян защитил докторскую диссертацию «Основы теории и расчет морских течений» и был избран заведующим отделом гидрологии Морского гидрофизического института АН Украины в Севастополе. В период с 1969 по 1982 гг. он работал в Москве, в Институте океанологии им. П.П. Ширшова АН СССР, заведующим лабораторией динамики морских течений. С 1982 г. и по настоящее время Артем Саркисович работает главным научным сотрудником в Институте вычислительной математики РАН.

В 1970 г. за разработку теории и экспедиционное исследование экваториального подповерхностного противотечения Ломоносова А.С. Саркисяну вместе с группой коллег была присуждена Государственная премия СССР. В 2000 г. за цикл работ «Модели и методы в задачах физики атмосферы и океана» в составе коллектива сотрудников Института вычислительной математики РАН, возглавляемого академиком Г.И. Марчуком, он был удостоен Государственной премии Российской Федерации.

В 1968 г. А.С. Саркисяну было присвоено звание профессора, в 1981 г. он был избран членом-корреспондентом АН СССР, а в 1992 г. – действительным членом Российской академии наук.

В 60-е годы, впервые в океанологии, А.С. Саркисян сформулировал тезис о решающем влиянии на формирование крупномасштабной циркуляции Мирового океана термохалинной неоднородности морской воды, что обеспечило проведение математических исследований динамики морских и океанических течений на различных временных масштабах для реальных физико-географических условий.

В середине 60-х годов, на основе результатов теоретического анализа и численного эксперимента, А.С. Саркисян обнаружил важнейший фактор изменчивости динамических процессов в океане, названный им совместным эффектом бароклинности и рельефа дна (СЭБИР). Полученные результаты показали, что для диагноза и прогноза гидрофизических полей в океанах требуется использование полных трехмерных нелинейных бароклинных моделей с реальной геометрией расчетной области, рельефа дна и детальной входной информацией. Особое значение А.С. Саркисян придавал данным наблюдений, без учета которых численные модели не могут обеспечить реальный прогноз погоды и климата в океанах и морях. Поэтому синтез результатов моделирования и данных наблюдений, основанный на специальных методах ассимиляции данных измерений, стал новым направлением работ А.С. Саркисяна, его последователей и учеников.

На протяжении ряда лет в 80-х годах XX века крупнейшей программой геофизических исследований в СССР, объединявшей математиков, метеорологов и океанологов, была программа исследования роли океана в формировании короткопериодных

колебаний климата Земли – программа «Разрезы». Артем Саркисович был заместителем научного руководителя этой программы и научным руководителем ее океанологической части. Под его руководством была проведена уникальная работа по сравнительному анализу всех существовавших в то время в СССР численных моделей общей циркуляции океана, что послужило стимулом к их дальнейшему совершенствованию.

Артем Саркисович много времени уделяет педагогической, научно-организационной и общественной деятельности. На протяжении ряда лет он преподавал на кафедре математического моделирования физических процессов Московского физико-технического института. В настоящее время он является профессором Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, где читает лекции по методам математического моделирования динамики океана. Под руководством А.С. Саркисяна защищены 30 кандидатских диссертаций, 11 его учеников стали докторами наук. В 2008 г. его ученик, Р.А. Ибраев, избран членом-корреспондентом РАН. Многие годы А.С. Саркисян был членом редколлегий различных научных изданий и журналов, таких как «Известия РАН. Физика атмосферы и океана», «Морской гидрофизический журнал», «Ocean-Air Interactions», «Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling». В настоящее время А.С. Саркисян является председателем комиссии РАН по присуждению премии имени вице-адмирала С.О. Макарова, заместителем главного редактора журнала «Известия РАН. Физика атмосферы и океана», членом учёных советов Института вычислительной математики РАН и Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

Научно-организационная деятельность Артема Саркисовича включала в себя его работу в качестве представителя СССР в международной рабочей группе по программе WOCE (Эксперимент по циркуляции Мирового океана), а также на посту первого вице-премьера Международной ассоциации по физической океанографии (IAPSO). Он был членом Научно-консультационного совета Международного арктического центра при университете Аляски, г. Фэйрбенкс. В течение ряда лет Артем Саркисович выполнял обязанности заместителя академика-секретаря Отде-

ления океанологии, физики атмосферы и географии Российской академии наук.

В списке научных трудов академика А.С. Саркисяна содержится более 260 работ, в том числе 13 монографий. Среди них: «Численный анализ и прогноз морских течений», «Методы и результаты расчета циркуляции вод Мирового океана» (с соавторами), «Математическое моделирование циркуляции океана» (совместно с Г.И. Марчуком). Многие книги А.С. Саркисяна переведены на иностранные языки.

В последние годы А.С. Саркисян продолжает активную научную, общественную и педагогическую деятельность. В 2009 г., совместно с Ю. Зюндерманом, он издал фундаментальную книгу по моделированию изменений климатических характеристик океана: «Modelling Ocean Climate Variability», издательство Springer Verlag. В 2012 г. вышла его книга «Численный анализ и прогноз морских течений», основанная на курсе лекций на Кафедре океанологии Географического факультета МГУ. А.С. Саркисян читает лекции в научно-популярной серии Общества «Знание». В мае 2011 г. в Гидрометцентре России под руководством А.С. Саркисяна создана группа для решения задачи создания технологии взаимодействия океанского блока с атмосферой для среднесрочного прогноза погоды.

После воссоединения Крыма и города Севастополя с Россией Артем Саркисович предпринял огромные усилия для сохранения Морского гидрофизического института и Института биологии южных морей в городе Севастополе, которые находились под угрозой их поглощения малоизвестным Институтом природно-технических систем. Благодаря усилиям и авторитету академика РАН А.С. Саркисяна удалось сохранить институты и их материально-техническую базу.

Работы А.С. Саркисяна отмечены правительственными наградами: орденами Дружбы народов и Знак почета, Золотой медалью Болгарской академии наук.

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОКЕАНА

Бондур В.Г.

*НИИ «АЭРОКОСМОС», г. Москва, Россия
vgbondur@aerocosmos.info*

Ключевые слова: дистанционное зондирование, космический мониторинг, акватории морей и океанов, обработка изображений.

Развитие современной океанологии невозможно без применения космических методов и технологий, обеспечивающих возможность мониторинга широкого спектра океанологических параметров в глобальном и региональном масштабах. Это способствует решению ряда актуальных проблем в таких областях, как изучение природы Мирового океана; фундаментальные исследования в области физики, химии, биологии и геологии океана; освоение ресурсов океана; охрана окружающей среды в морях и океанах; исследование влияния Мирового океана на изменение климата; мониторинг чрезвычайных ситуаций и обеспечение безопасности в океане. Проанализированы современные методы дистанционного зондирования океана и широкий спектр информационных продуктов, формируемых при обработке изображений, полученных в различных диапазонах спектра электромагнитных волн с помощью аппаратуры, установленной на борту космических аппаратов. Приведены примеры использования методов и средств космического мониторинга для решения научных и практических задач современной океанологии. Особое внимание уделено мониторингу катастрофических процессов, формируемых на границе атмосферы и океана, мониторингу антропогенных воздействий на акватории морей и океанов, а также разработке дистанционных методов и формированию системы мониторинга шельфовой зоны на основе спутниковых и контактных данных. Приведены результаты примене-

ния такой системы для мониторинга антропогенных воздействий на прибрежные акватории в различных регионах Черноморского побережья Российской Федерации.

К БУДУЩЕЙ БЕСШОВНОЙ СИСТЕМЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОГОДЫ И КЛИМАТА

Фролов А.В.

*РОСГИДРОМЕТ, г. Москва, Россия
send@alexfrolov.com*

Ключевые слова: бесшовный прогноз, интегрированные модели окружающей среды, погода, климат.

Успехи в прогнозировании погоды и климата связаны с достижениями в области создания наблюдательных систем, моделей общей циркуляции атмосферы и океана, а также суперкомпьютерных технологий обработки больших потоков данных.

В задачах прогноза погоды (от часов до недели) решающее значение имеют начальные данные, пространственное разрешение моделей и адекватный параметрический учёт подсеточных неадиабатических процессов. Успешность прогнозов на более длительный срок зависит от способности сопряжённых моделей океана и атмосферы предсказывать аномалии температуры океана, влажности почвы и снежного покрова (краевая задача). Модели современного климата ориентированы на изучение реакции климатической системы на воздействия природного и антропогенного происхождения («форсинг»).

Существующие системы прогнозирования эволюционируют от технологий прогноза погоды, включая ансамблевое прогнозирование, к полностью интегрированным системам прогнозирования окружающей среды, объединяя в себе атмосферу, океан, сушу, криосферу и экологические характеристики, такие как концентрации малых газовых составляющих, аэрозолей и загрязняющих веществ. Подобные интегрированные (бесшовные) прогностические системы снимают барьеры между временными

масштабами, средами и дисциплинами. Они позволяют на единой технологической основе проводить обработку данных, выпускать прогнозы на временных масштабах от нескольких минут до нескольких лет, оценивать риски многих других опасных природных явлений: гидрологических (наводнения, затопления), морских и прибрежных (ветровые волны, штормовые нагоны), геофизических (оползни, возмущения космической погоды).

Обсуждаются возможные подходы к реализации подобных систем.

ВЛИЯНИЕ АДВЕКЦИИ АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД НА ЕВРОПЕЙСКИЕ МОРЯ РОССИИ

Матишов Г.Г.

*ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия
matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru*

Ключевые слова: климат, гидрология, ледовый режим, аномалии, экосистемы, арктические и южные моря, «ось Воейкова».

Современные изменения климата и гидрологического режима морей являются следствием океанических процессов глобального масштаба. Для европейских морей России ведущим фактором внешнего воздействия является адвекция вод в системе течений Северной Атлантики.

С начала XXI века на северных и южных морях России наблюдаются крупные климатические аномалии. В Западной Арктике имеет место продолжительное потепление морских вод, сопровождающееся сокращением площади ледяного покрова. Это уже заметно сказалось на условиях морской деятельности и стимулирует дискуссии о стратегии освоения Арктики (развитие ледокольного флота, возможности нефтегазодобычи на шельфе). В то же время на Черном, Азовском и Каспийском морях в отдельные годы отмечались резкие похолодания и аномально тяжелые ледовые условия.

По нашим оценкам, теплая аномалия в арктических морях обусловлена интенсификацией адвекции североатлантических вод, что сказывается как на изменениях термохалинного и ледового режима, так и на состоянии морских экосистем. Отмечаются распространение к северу ряда промысловых видов рыб, изменение видового состава бентосных сообществ, вспышки численности чужеродных видов.

В те же годы над континентом Евразии неоднократно отмечались мощные блокирующие процессы в атмосфере, ориентированные по климатической «оси Воейкова». Это способствует усилению адвекции атлантических водных масс и одновременно выносу холода на южные моря России, что подтверждается результатами совместного анализа гидрологических, ледовых и метеорологических данных.

КЛИМАТ И ОКЕАН В МАСШТАБАХ ДЕСЯТИЛЕТИЙ

Нигматулин Р.И.

*ИО РАН, г. Москва, Россия
nigmar@ocean.ru*

Ключевые слова: потепление климата, многомасштабность, влагосодержание, гидростатичность, облачность.

Глобальный климат характеризуется средней (по поверхности Земли или крупных широтных зон) температурой, суточными и сезонными амплитудами ее колебаний в различных зонах, осадками и кинетической энергией ее движения. Изменение климата влияет на уровень океана и покрытие его льдом в полярных зонах.

Основные физические факторы, влияющие на климат:

1. альбедо поверхности Земли, характеризующее степень отражения, падающего коротковолновой солнечной радиации;
2. влагосодержание (капельное и паровое, аэрозоль, облачность);

3. содержание парниковых газов (водяного пара, CO₂, метана и др.);
4. внутрифазный и межфазный тепло- и массоперенос в системе атмосфера океан – суша, который включает:
 - а) радиационный перенос, поглощение и отражение радиации;
 - б) турбулентный перенос тепла, CO₂, паровой и капельной влаги;
 - в) испарение влаги и ее конденсация, осадки;
 - г) конденсация капельной влаги и образование облаков, отражающих солнечную радиацию;
5. перенос тепла океанскими течениями. Гольфстрим;
6. астрономические факторы:
 - а) эллиптичность орбиты Земли;
 - б) влияние на орбиту Земли притяжения других планет (Венеры, Юпитера, Сатурна);
 - в) активность Солнца.

Проблемы математического моделирования. Вертикальная квазистатичность климатических моделей океана и атмосферы. Многомасштабность и сингулярные зоны в гидродинамике океана. Усреднение.

Концепция глобального потепления.

Экологические, экономические и энергетические последствия изменения климата.

ПРОГНОЗ ПОГОДЫ С УСВОЕНИЕМ СПУТНИКОВЫХ И ФАКТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Вильфанд Р.М., Киктёв Д.Б.

*Гидрометцентр России, г. Москва, Россия
vilfand@mecom.ru*

Ключевые слова: метеорологические наблюдения, спутниковые данные, технологии усвоения данных и прогнозирования.

Усвоение данных является базовой технологией для различных научных и практических приложений в метеорологии и

океанологии. Уровнем усвоения данных во многом определяется качество моделирования и прогнозов погоды. Наличие в стране конкурентоспособной оперативной системы усвоения данных метеорологических наблюдений собственной разработки является одним из показателей реальной независимости государства.

Одной из основных тенденций в усвоении данных наблюдений является расширение их видов и объемов. В усваиваемой информации 2/3 сегодня приходится на спутниковые данные. Значительное внимание уделяется методам всепогодного усвоения данных спутниковых наблюдений. Активные работы ведутся в области усвоения характеристик состояния земной поверхности (снег, влагосодержание почвы, температура верхнего слоя почвы), атмосферных примесей (оптическая толщина аэрозоля, озона) и т.д. Развиваются гибридные методы усвоения, сочетающие возможности ансамблевого и вариационного подходов, а также совершенствуются методы описания и учета ошибок прогностических моделей.

В Гидрометцентре России в оперативной практике сегодня используется система трехмерного вариационного усвоения данных наблюдений. Поддерживается единая технологическая база для оперативного усвоения данных наблюдений в атмосфере и океане. Ведется разработка гибридной вариационно-ансамблевой схемы, основанной на новом принципе иерархического байесового усвоения данных. Расширяется список усваиваемых спутниковых наблюдений, совершенствуется усвоение характеристик подстилающей поверхности. В докладе кратко представлены технологии усвоения данных и прогнозирования метеорологических полей и процессов, разработанные в Гидрометцентре России.

СИНТЕЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ И НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРМОГИДРОДИНАМИКИ И ЭКОСИСТЕМ ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ

Филатов Н.Н.

*ИВПС КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, Россия
nfilatov@rambler.ru*

Ключевые слова: гидродинамика, экосистемы, климат, моделирование, эвтрофирование, стратифицированные озера, Белое море.

Рассматриваются результаты моделирования динамики вод и экосистем крупных стратифицированных озер на моделях, разработанных А.С. Саркисяном для океана (1977; 1986). Представлены результаты натуральных экспериментов на озерах для диагностических, адаптационных и прогностических расчетов, калибрации и верификации моделей гидродинамики (Акопян, Гурина, Демин, Филатов, 1994). Даны результаты численных экспериментов на Ладожском и Онежском озерах для верификации моделей циркуляции океана, разрабатываемых в рамках проекта «Разрезы» (Марчук, Кондратьев, Саркисян и др., 1989; Демин, Филатов, 1989; Филатов, 1991).

Приводятся результаты натуральных наблюдений и численных экспериментов термогидродинамики озера Севан, которые позволили обосновать оптимальный гидрологический режим повышения уровня воды озера Севан на 6 м для надежного водопользования, восстановления качества вод, прекращения антропогенного эвтрофирования (Акопян, Гурина, Демин, Торгомян, Филатов, 1984).

Представлены результаты численных и специально спланированных натуральных экспериментов (на разрезах, полигонах, АБС и со спутников) на Белом море с обработкой результатов измерений по схеме четырехмерного анализа для восстановления нестационарного характера процессов и усвоения данных в системе для разработки системы оперативного мониторинга – СОМ (Саркисян, Семенов, 2004; Белое море, 2007); даны про-

гностические оценки изменений экосистемы Белого моря при разном комплексе климатических и антропогенных воздействий, полученных в рамках ФЦП «Мировой океан», ИНКО-Коперникус и проекта «Арктика» (Filatov et al, 2005; Белое море, 2007; Филатов и др., 2015).

ТРАНСПОЛЯРНАЯ СИСТЕМА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Фролов И.Е., Тимохов Л.А.

*ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
frolov@aari.ru*

Ключевые слова: Трансполярная система, климатические стадии, сценарии изменений.

Трансполярная система Северного Ледовитого океана (СЛО), включающая в себя крупномасштабные термохалинные структуры (поверхностные арктические воды, шельфовые воды, воды атлантического и тихоокеанского происхождения, донные воды) и динамические структуры (трансарктический дрейф, антициклонический круговорот, циркуляция атлантических и донных вод), а также ледяной покров, является главной частью СЛО.

Анализ исторических данных наблюдений позволил выделить климатические стадии состояния Трансполярной системы СЛО. Указываются возможные причины формирования климатических стадий. По данным океанографических наблюдений с 1950 г. построены гридированные поля температуры и солёности в зимний период и рассчитаны индексы состояния СЛО. На основе полученной информации построены статистические модели межгодовой изменчивости состояния Трансполярной системы и получены оценки вклада внутренних и внешних факторов в дисперсию изменчивости индексов состояния Трансполярной системы.

Дан анализ экстремальных океанологических процессов в 2007 – 2012 гг. Объёмный анализ водных масс показал, что от

70-х годов прошлого столетия к 2007 г. произошла существенная перестройка термохалинной структуры. В последнее десятилетие особенно большие изменения произошли в ледяном покрове, площадь которого значительно сократилась в летний период, и в поверхностном слое Амеразийского суббассейна, где возникло аномальное распределение и образовалась обширная область большого содержания пресных вод. На основе эмпирических и статистических моделей произведены оценки возможных изменений состояния Трансполярной системы и распределения льдов в СЛО.

ОПЕРАТИВНЫЕ МОДЕЛИ И МОРСКИЕ ПРОГНОЗЫ

Коротаев Г.К.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
korotaevgren@mail.ru*

Ключевые слова: численные модели, синоптическая изменчивость, дистанционное зондирование океана, морские прогнозы.

Открытие синоптической изменчивости открытого океана показало, что текущее состояние океана значительно отличается от средне-климатического. В силу этого на повестку дня встала задача непрерывного мониторинга морской среды и прогнозирования ее изменений. Решение этой задачи, в первую очередь, связано с созданием численных моделей океанической циркуляции, отвечающих определенным требованиям. В частности, модель оперативного прогноза должна достоверно воспроизводить температурную и халинную стратификацию океана и изменчивость его деятельного слоя, она должна достаточно надежно разрешать синоптические процессы. Кроме того, оперативная модель должна включать блок ассимиляции разнородных наблюдений, включающих картирование синоптических процессов и вертикальные зондирования полей температуры и солености морской воды. Ассимиляция в оперативных моделях данных дистанционного зондирования океана с ИСЗ и контакт-

ных измерений со свободно-дрейфующих поверхностных буев и буев-профилемеров позволила создать в США, Европейском Союзе и других странах в течение последних двух десятилетий эффективную систему оперативных морских прогнозов по образу и подобию прогнозов погоды. В созданном в рамках проекта «Мой Океан» Черноморском центре мониторинга и прогноза в настоящее время функционирует в оперативном режиме система морских прогнозов, отвечающая мировым стандартам. Система основана на ассимиляции спутниковых измерений температуры поверхности моря и топографии морской поверхности и производит пятидневные прогнозы трехмерных полей температуры, солености и скорости течений. Продукты системы прогнозов имеют высокое качество и создают новые возможности для решения научных и прикладных задач.

О НЕОБХОДИМОСТИ СОЗДАНИЯ СЕРИЙ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ РАСЧЁТНЫХ АТЛАСОВ (СОКРАТ)

Саркисян А.С.

ИВМ РАН, г. Москва, Россия
Гидрометцентр России, г. Москва, Россия
ИО РАН, г. Москва, Россия
МГУ, г. Москва, Россия
sarkis.inm@yandex.ru

Ключевые слова: океанографические климатические расчетные атласы, приспособление слоев океана, вдольбереговые течения.

Нами в журнал «Океанология» представлена статья с таким же названием. В данном выступлении представлена работа доработанная, расширенная и с большим числом рисунков.

В работе, для создания серий атласов под общим названием СОКРАТ, предложена методика интегрирования системы уравнений динамики океана (ЗДРЕМ) таким образом, чтобы можно было приспособить циркуляцию нижних слоев океана к верх-

ним и избежать при этом сглаживания интенсивности последних из-за длительного интегрирования или из-за грубого разрешения. Приводятся примеры конкретных расчетов автора с небольшой группой коллег. В этих результатах сохранились реалистичные физические особенности циркуляции вод благодаря короткому периоду интегрирования и высокому разрешению.

Показано, что вследствие длительного интегрирования и/или моделирования с грубым разрешением практически «пропадает» самое главное в динамике океана – интенсивные вдольбереговые течения, т.е. навязывается чуждое океану не существующее «установившееся» физическое стояние.

Английский вариант названия предложенной серии: Series of Oceanographic Climatic Research ATlasses (SOCRAT).

МЕТОДИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ И АССИМИЛЯЦИЯ В МОДЕЛИ ТРЕХМЕРНЫХ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕННОСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ АЛЬТИМЕТРИИ И ИЗМЕРЕНИЙ БУЕВ ARGO

Кныш В.В.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
vaknysh@yandex.ru*

Ключевые слова: альтиметрический уровень, малочисленные наблюдения, адиабатический процесс, оригинальная методика, трехмерные поля, ассимиляция, реанализ.

Разработана методология совместной обработки альтиметрических и малочисленных гидрологических наблюдений в Черном море в 1993 – 2012 гг. Предложена и реализована оригинальная методика восстановления трехмерных полей температуры и солености в глубоководной части моря. Такая методика позволила выделить глубины, на которых вклад адиабатических процессов в деформацию профилей температуры и солености моря является преобладающим. Восстановлены трехмерные среднесуточные поля температуры и солености морской воды в

слое 100 – 500 м на регулярной сетке модели. Выполнена оценка точности восстановленных полей посредством их сопоставления с данными зондирований. Структуры полей температуры и солености естественным образом коррелируют с топографией альтиметрического уровня и четко отражают синоптическую изменчивость. Величины среднеквадратических отклонений между воспроизведенными в реанализе (с ассимиляцией подготовленных данных) и измеренными значениями солености и температуры указывают на недостатки моделирования термодинамики верхнего слоя моря. Необходимо в дальнейшем дополнительно ассимилировать в модели альтиметрический уровень и температуру поверхности моря по данным с ИСЗ. Наряду с использованием более корректных процедур ассимиляции данных это позволит в дальнейшем воспроизвести эволюцию гидрологических полей Черного моря с лучшей точностью.

МОДЕЛЬ МИРОВОГО ОКЕАНА

Ибраев Р.А.

*ИВМ РАН, г. Москва, Россия
ibrayev@mail.ru*

Ключевые слова: Мировой океан, численные модели, прогноз, климат, Северный Ледовитый океан.

Численные модели общей циркуляции океана более полувека используются для изучения динамики океана, климата Земли и их изменчивости на различных пространственных и временных масштабах. Развитие вычислительных средств делает актуальной задачу создания нового поколения систем прогноза погоды и климата. При этом необходимо закладывать в физику и программный код моделей возможность работы в широком диапазоне пространственных масштабов. В частности для описания мезомасштабных вихрей и основных струйных течений океана горизонтальное разрешение должно составлять не менее $(1/10)^\circ$.

При создании системы прогноза погоды необходимо решить задачи построения вычислительно эффективных совместных моделей атмосферы, морского льда, океана и т.д.; алгоритмов усвоения доступных данных измерений параметров среды и их реализации с высоким разрешением, что требует численных алгоритмов масштабируемых на $10^4 - 10^5$ вычислительных ядрах.

Возникает отдельная задача создание программных средств для координированной работы различных моделей и алгоритмов усвоения данных и анализа.

Обсуждаются результаты, полученные в ИВМ РАН, ИО РАН и Гидрометцентре по моделированию глобального океана и его акваторий.

Приводятся примеры решения, полученные с моделью Мирового океана ИВМ–ИО $1/10 \times 1/10 \times 49$.

Анализируется внутригодовая изменчивость Северного Ледовитого океана, воспроизведенная совместной моделью ИВМИО – CICE.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОЛОГИИ ДЛЯ ОГРАНИЧЕННЫХ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ

Семенов Е.В.¹, Оноприенко В.А.²

¹ИО РАН, г. Москва, Россия

²ИБРАЭ РАН, г. Москва, Россия

oceanmod@ya.ru

Ключевые слова: оперативная океанология, наблюдательная сеть, МИК-технологии.

В работе рассмотрено решение задачи оперативной океанологии для ограниченных морских акваторий на основе данных наблюдательной сети, использующей т.н. МИК-технологии (мобильный измерительный комплекс). Указанная технология использует комплект теряемых глубоководных радиозондов на авианосителе, в качестве которого рассматриваются БЛА, вер-

толет и самолет. Технология допускает использование как надводных, так и подводных носителей.

Базовой измеряемой информацией являются: глубоководные профили температуры и солености, а также, горизонтальная скорость течения на уровне выше придонных пограничных слоев.

Измеренные скорости на горизонте выше придонных слоев трения рассматриваются как вызванные физическим баротропным градиентом гидростатического давления и используются для его восстановления.

Для этого решается гиперболическое уравнение типа Клейна-Гордона, правая часть которого зависит только от измеряемых баротропных скоростей.

Приведены тестовые расчеты по методу «близнецов» на основе данных оперативной фоновой модели Баренцева и Карского морей, дающие основания ожидать, что предлагаемый подход позволит, при его реализации, решить задачу оперативной океанологии для ограниченных морских акваторий, в том числе и для потребителей с весьма высокими требованиями к точности получаемого решения.

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ПРИБРЕЖНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В ЧЕРНОМ МОРЕ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЕТОВ С ВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Демышев С.Г.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
demyshev@gmail.com*

Ключевые слова: Черное море, численная модель, мезомасштабные и субмезомасштабные вихри, ассимиляция, данные наблюдений.

Представлен обзор результатов расчетов прибрежной циркуляции в Черном море, проведенных на основе прогностических экспериментов, учитывающих реальное атмосферное воздей-

ствии, и последовательного анализа данных гидрологических съемок. Численные эксперименты проводились с различным пространственным разрешением – от 300 м до 1,6 км, что позволило восстановить мезо- и субмезомасштабные особенности циркуляции на северо-западном шельфе, в районе побережья Крыма, вдоль Анатолийского и Кавказского побережий. Исследованы возможные физические механизмы их формирования, которые определяются работой сил плавучести, турбулентной диффузией, перемешиванием и влиянием береговой черты на прибрежные течения. Показано, что большую роль при формировании мелкомасштабных вихрей играют особенности рельефа дна.

СЕКЦИЯ 1 «МОДЕЛИ. МЕТОДЫ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

ВИХРЕРАЗРЕШАЮЩЕЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ И ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БАРОКЛИННОЙ СТРАТИФИКАЦИИ ПЛОТНОСТИ НА ШИРИНУ ГОЛЬФСТРИМА

Дианский Н.А.

*ИВМ РАН, г. Москва, Россия
ГОИИ, г. Москва, Россия
nikolay.diansky@gmail.com*

Ключевые слова: Гольфстрим, Северная Атлантика, фронт, вихреразрешающее моделирование, меандрирование.

Проведены численные эксперименты по расчету циркуляции Северной Атлантики с помощью вихреразрешающей σ -модели океана INMOM с шагами пространственной сетки $0,16^\circ \times 0,08^\circ$ по долготе и широте. Воспроизведен струйный характер Гольфстрима со скоростями течений, превышающими 1,5 м/с. Продемонстрировано меандрирование Гольфстрима и сопутствующее ему вихреобразование.

С помощью метода диагноза–адаптации А.С. Саркисяна смоделирован физический процесс обострения фронта Гольфстрима, начиная с «размытого» поля средней плотности по данным Левитуса. При этом происходит интенсификация Гольфстрима с увеличением скорости от 0,7 м/с до более чем 1,5 м/с, и уменьшением его ширины от ~300 км до ~100 км.

На основе идеализированного упрощенного представления фронта Гольфстрима в виде двухслойной жидкости проведены аналитические оценки изменения потенциальной и кинетической энергии при обострении фронта. Показано, что интенсификация Гольфстрима обусловлена увеличением его кинетической энергии, а источником этого увеличения служит доступная потенциальная энергия, запасенная в бароклиновой стратификации

плотности в области Гольфстрима. Ширина Гольфстрима приблизительно в 100 км соответствует минимуму суммы кинетической и доступной потенциальной энергий.

СОВМЕСТНАЯ МОДЕЛЬ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА ПЛАВ-ИВМИО ДЛЯ БЕСШОВНОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Фадеев Р.Ю.^{1,3}, Ушаков К.В.^{1,2,3}, Толстых М.А.^{1,3},
Ибраев Р.А.^{1,2,3}, Калмыков В.В.²

¹ИВМ РАН, г. Москва, Россия

²ИО РАН, г. Москва, Россия

³Гидрометцентр России, г. Москва, Россия
lord.rrd@gmail.com

Ключевые слова: совместные модели атмосферы, океана, бесшовный численный прогноз погоды, моделирование изменений климата.

До недавнего времени совместные модели атмосферы и океана применялись в основном в задаче моделирования изменений климата. К настоящему моменту во многих метеорологических центрах на основе совместных моделей разработаны и реализованы системы долгосрочного прогноза погоды. Объектом прогноза при этом являются среднесезонные аномалии метеорологических полей по отношению к среднеклиматическим значениям для данного сезона.

В ИВМ РАН, ИО РАН и в Гидрометцентре России разработана перспективная совместная модель, основными компонентами которой являются глобальная модель атмосферы ПЛАВ, модель Мирового океана ИВМИО и компактная вычислительная платформа для моделирования CMF 2.0, которая обеспечивает одновременную работу каждого компонента, обмен данными между ними и взаимодействие с файловой системой. Разработанная модель ориентирована на прогноз с заблаговременно-

стью от нескольких дней до нескольких лет и, таким образом, может называться моделью для бесшовного прогноза.

Тестирование совместной модели ПЛАВ-ИВМИО на срок до нескольких модельных лет показало качественное согласие с данными реанализа в полях осредненных за год потоков тепла на поверхности. Интегральные значения потоков тепла также близки к рекомендованным IPCC величинам.

Совместную модель предполагается опробовать на серии сезонных прогнозов, а затем выполнить эксперименты по воспроизведению современного климата согласно протоколу международного эксперимента CMIP.

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НА ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОЛЕННОСТИ В ЧЕРНОМ МОРЕ В ЗАДАЧЕ «СОТВОРЕНИЯ МИРА»

Сендеров М.В., Мизюк А.И., Коротаев Г.К.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
senderovmaxim@gmail.com*

Ключевые слова: численное моделирование, вертикальная халинная структура, Черное море, пролив Босфор.

В настоящее время течения в проливе Босфор обусловлены наличием двух факторов. Нижнебосфорское течение возникает вследствие разности плотностей, поскольку соленость средиземноморских вод примерно 38‰, а черноморских – около 18‰. Разность уровней, обусловленная различиями в пресноводном балансе образует верхнебосфорское течение. Резкая стратификация вод Черного моря и ослабленное вертикальное перемешивание формируют особую халинную стратификацию бассейна.

Цель данной работы – исследовать формирование халинной структуры Черного моря и сравнить полученные результаты с гипотезой Райана-Питмена, согласно которой после природных катаклизмов образовался пролив Босфор и начался вток соленых мраморноморских вод в пресноводный черноморский бассейн.

Для этого была создана конфигурация численной модели циркуляции NEMO с грубым пространственным разрешением (20 км), включающая Мраморное, Черное и Азовское моря. Выполнен ряд численных экспериментов с равномерно распределенной по глубине соленостью (8‰, 16‰, 22‰). После настройки модели и подбора параметров были получены данные, в которых наблюдается формирование верхне- и нижнебосфорского течений, расходы которых близки к климатическим значениям: 12000 м³/с и 6000 м³/с соответственно. Также результаты моделирования демонстрируют халинную структуру, качественно близкую к наблюдаемой. В результате влияния водообмена через пролив Босфор и стока рек сформировалась крупномасштабная циркуляция.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД ЯПОНСКОГО МОРЯ И ЕЕ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX ВЕКА

Степанов Д.В., Дианский Н.А., Новотрясов В.В., Гусев А.В.

*ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
step-nov@poi.dvo.ru*

Ключевые слова: численное моделирование, Японское море, климатическая циркуляция, межгодовая и декадная изменчивость, глубоководная конвекция.

На основе данных численного моделирования проведен анализ отклика циркуляции вод Японского моря (ЯМ) на атмосферное воздействие с 1948 по 2009 гг. Подтверждено, что характерной особенностью крупномасштабной циркуляции вод на промежуточных горизонтах и в глубоководных слоях ЯМ является циклонический круговорот, который интенсифицируется в весенний и ослабляется в осенний сезоны. Вихревая составляющая этого круговорота характеризуется интенсивной изменчивостью на межгодовых и декадных масштабах.

Установлено, что интенсификация и ослабление циклонического круговорота наблюдаются на масштабах 3 – 4 и 5 лет. На декадных масштабах выявлена его значительная интенсификация с 1948 по 1965 гг., после которого вплоть до начала 2000 г. наблюдается период его значительного ослабления. Показано, что на межгодовых масштабах основной вклад в изменчивость вихревой составляющей циклонического круговорота вносит положительный вихрь напряжения ветра (ВНВ), а на декадных – положительный ВНВ и меридиональный градиент потока явного тепла над ЯМ. Выявлено ослабление меридионального градиента потока явного тепла над ЯМ на масштабах 12 – 15 лет, которое приводит к ослаблению стратификации в северной и центральной частях ЯМ.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ С РАЗРЕШЕНИЕМ СУБМЕЗОМАСШТАБНОЙ И МЕЗОМАСШТАБНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ

Дымова О.А., Демышев С.Г.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
olgdyмова@rambler.ru*

Ключевые слова: Черное море, численный анализ, мезомасштабные вихри, субмезомасштабные вихри, кинетическая энергия, потенциальная энергия.

Мезомасштабные и субмезомасштабные особенности циркуляции Черного моря были исследованы с помощью численной вихреразрешающей модели Морского гидрофизического института. Численные эксперименты проведены с пространственным разрешением 1,6 км и учетом реального атмосферного воздействия за 2006 и 2011 гг. Реконструированы вихри с масштабами 5 – 10 км и временем жизни несколько суток. Энергетические характеристики рассчитаны с помощью конечно-разностных аналогов уравнений бюджета кинетической и потенциальной

энергии. Рассмотрена пространственно-временная изменчивость компонентов бюджета энергии и оценена работа основных сил, определяющих механизмы формирования вихрей, фронтальных зон и струйных течений различных масштабов. Установлено, что в северо-восточной части Черного моря и вблизи побережья Крыма возникновение субмезомасштабных вихрей связано с процессами бароклинной неустойчивости. В южных и юго-восточных прибрежных зонах мезомасштабные вихри генерируются при слабых ветрах, когда вклад от ветра в кинетическую энергию уменьшается и существенным становится влияние ортографии берега и рельефа дна.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №15-05-05423 А.

РАЗНОМАСШТАБНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ В СЕВЕРНЫХ РАЙОНАХ ЯПОНСКОГО И ОХОТСКОГО МОРЕЙ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Пономарев В.И., Файман П.А., Дубина В.А., Машкина И.В., Будянский М.В., Улейский М.Ю., Пранц С.В.

*ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
pvi711@yandex.ru*

Ключевые слова: моделирование, наблюдения, циркуляция, моря, Японское, Охотское.

Работа посвящена исследованию изменчивости циркуляции крупного и синоптического масштабов на севере Японского и Охотского морей с использованием численных гидродинамических моделей МГИ ОМ, RIAM ОМ, ROMS, а также имеющихся данных дистанционных и контактных измерений. На основе анализа натурных наблюдений и численных экспериментов с квазиизопикнической моделью МГИ ОМ, выполненных без ассимиляции данных измерений, установлены характерные особенности сезонной и внутрисезонной изменчивости вихрей и

струйных течений синоптического и субсиноптического масштабов в заливе Петра Великого и прилегающей части Японского моря.

Численный эксперимент с моделью циркуляции, разработанной в Институте прикладной механики Университета Кюсю в Японии, выполнен для многолетнего периода с жесткой ассимиляцией данных о температуре и солёности на поверхности моря для области, включающей северо-западную часть Японского моря, Охотское море и прилегающую часть Тихого океана. С помощью этой модели, решение которой успешно верифицировалось по данным дистанционных и контактных измерений, показаны особенности сезонной и внутрисезонной изменчивости системы течений и синоптических вихрей в Татарском проливе Японского моря, Амурском лимане и Сахалинском заливе Охотского моря, а также изменчивости водообмена между этими морями через узкий мелководный пролив Невельского. Численные эксперименты с моделью ROMS выполнялись для небольших вложенных областей Сахалинского и Приморского шельфа с учетом приливов с целью более детального анализа и верификации изменчивости скорости течения по данным измерений.

ГЛУБИННАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ ЧЕРНОГО МОРЯ: ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ДАННЫЕ ДРЕЙФУЮЩИХ БУЕВ

Багаев А.В., Демьшев С.Г., Маркова Н.В.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
n.v.markova@mail.ru*

Ключевые слова: Черное море, численное моделирование, буи *Argo*, скорость течения, глубоководная циркуляция.

Динамическая структура вод Черного моря под основным пикноклином изучена слабо. Суммарный архив данных натуральных измерений течений на больших глубинах и по настоящее

время остается крайне небольшим. Численные эксперименты на основе современных океанических моделей позволяют воспроизводить трехмерную по пространству структуру поля течений для всего бассейна, но при этом все же требуют верификации натурными данными на соответствующих горизонтах. Одним из источников таких данных могут служить измерения, выполненные автономными всплывающими буями *Argo*.

В представленной работе рассматриваются результаты численного эксперимента по моделированию полей скоростей Черного моря, проведенного на основе разработанной в МГИ нелинейной z -координатной численной модели гидродинамики океана, и расчетов лагранжевых скоростей течений на глубинах ниже основного пикноклина, выполненных на основе находящихся в открытом доступе данных измерений дрейфтеров *Argo* в 2005 – 2015 гг.

Построены карты векторов горизонтальной скорости перемещения дрейфтеров *Argo* в четырех слоях, соответствующих номинальным значениям парковочных глубин. Произведен анализ амплитуд и направлений построенных векторов скорости по модельным и буйковым данным в слоях 350 – 600 м, 600 – 800 м, 800 – 1200 м, 1200 – 1600 м. Проведена статистическая оценка полученных результатов. Установлено наличие в субпикноклине синоптических и мезомасштабных вихревых структур разного знака завихренности.

Работа Багаева А.В., Марковой Н.В. выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16-05-00264 А.

Работа Демышева С.Г. выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №15-05-05423 А.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ КРУПНОМАСШТАБНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ И ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР В ЧЕРНОМ МОРЕ

Павлушин А.А., Коротаев Г.К., Шапиро Н.Б.,
Михайлова Э.Н.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
pavlushin@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: Черное море, численная модель, ветровая циркуляция, неустойчивость, вихри.

Обсуждаются результаты численных экспериментов по моделированию ветровой циркуляции в рамках двухслойной вихререзающей модели, основанной на системе примитивных уравнений в приближении «твердой крышки».

В основных расчетах для аппроксимации уравнений движения использовалась схема Лакса-Веддроффа и схема с направленными разностями для уравнений неразрывности. Также были реализованы схемы с сохранением энергии и потенциальной завихренности.

Расчеты проводились на длительный срок на достаточно мелкой сетке с последовательным учетом различных факторов. Сначала проводились расчеты с постоянным параметром Кориолиса и горизонтальным дном при различных значениях коэффициентов придонного трения и горизонтальной турбулентной вязкости. Далее рассматривалось влияние β -эффекта, рельефа дна. Для исследования влияния конфигурации берегов были проведены эксперименты в бассейнах идеализированной формы.

При длительном воздействии стационарного циклонического ветра, вследствие процессов гидродинамической неустойчивости течений, решение выходило на статистически равновесный автоколебательный режим, при котором поступление энергии в море за счет работы сил тангенциального напряжения ветра, регулировалось процессами вихреобразования.

Придонное трение оказывает существенное влияние, как на вертикальную структуру течений, так и на динамику вихрей.

При учете β -эффекта наблюдались волны, с параметрами близкими к основной баротропной нормальной моде волны Россби в ограниченном бассейне.

О РЕГУЛЯРИЗАЦИИ ЧИСЛЕННЫХ РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЙ ДВУХСЛОЙНОЙ МЕЛКОЙ ВОДЫ

Головизнин В.М.

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

Ключевые слова: численный метод, двухслойная мелкая вода, условие гиперболичности, регуляризация, схема КАБАРЕ.

Уравнения гидродинамики в приближении двухслойной мелкой воды являются удобным инструментом для исследования ряда качественных характеристик морских и океанических течений. Однако, в процессе решения их тип может переключаться с гиперболического на эллиптический, что приводит к потере корректности задачи. В качестве средства регуляризации обычно используют искусственную («турбулентную») вязкость, величина которой зависит от решения и подбирается эмпирически.

В докладе излагается новый подход к регуляризации численного решения двухслойных уравнений мелкой воды, свободный от эмпирических параметров.

Метод основан на анализе условий гиперболичности системы в каждой пространственно-временной расчетной ячейке. Для этого численно решается кубическое уравнение резольвенты и находятся дискриминанты квадратных уравнений, к которым сводится исходное характеристическое уравнение четвертой степени методом Феррари. Если дискриминанты положительны, то все четыре корня действительны и система уравнений двухслойной мелкой воды в данной ячейке является гиперболической. В противном случае находится ограничение, которое нужно наложить на относительную скорость слоев, для того, чтобы вернуться в область гиперболичности. Последующая корректи-

ровка скоростей проводится с учетом закона сохранения импульса.

Описанная процедура не содержит настроечных параметров и определяет минимально возможную турбулентную диффузию, сохраняющую гиперболичность задачи.

Описанная процедура наиболее естественным образом вписывается в алгоритмы, основанные на схеме КАБАРЕ.

ЦУНАМИ В МИРОВОМ ОКЕАНЕ: ПРОБЛЕМЫ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Гусьяков В.К.

*ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск, Россия
gvk@sscc.ru*

Ключевые слова: природные катастрофы, цунами, землетрясения, исторические каталоги, базы данных.

Глобальная база данных по цунами, поддерживаемая в лаборатории цунами ИВМиМГ СО РАН, содержит около 2250 цунамигенных событий, происшедших в Мировом океане с 2000 г. до н.э. по настоящее время. Более половины из них (55%) произошло в Тихом океане, около четверти (24%) – в Средиземноморском регионе (включая Черное море), 25% в Атлантическом и 9% в Индийском океанах. Большинство цунами (около 75%) являются сейсмогенными, вызываемыми подводными землетрясениями, около 10% имеют оползневый и обвальный механизм, порядка 5% приходится на долю вулканогенных, около 3% имеют метеорологическую природу. Одной из проблем параметризации исторических данных является оценка положения и типа источника цунами. До 7 – 8% цунамигенных событий до сих пор имеют неидентифицированную природу, т.е. внезапные аномальные колебания уровня на берегу наблюдались, но их не удалось ассоциировать с каким-либо известным источником. Другой проблемой является классификация цунами по их энер-

гетическому масштабу, то есть определение их магнитуды или балла интенсивности по проявлениям на побережье. Единой международно-признанной шкалы интенсивности цунами до сих пор не существует, однако на практике наиболее широко используется шкала Соловьева-Имамуры, основанная на средних высотах цунами на ближайшем к очагу участке побережье. В докладе приводятся данные об уровне цунамиактивности в различных районах Мирового океана, анализируется важная для оперативного прогноза зависимость высот цунами от параметров источника, приводятся новые данные об интенсивностях цунами 1990 – 2015 гг., полученные в рамках выполнения гранта РФФИ 16-05-00450.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН ТИПА ЦУНАМИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Базыкина А.Ю., Доценко С.Ф., Ингеров А.В.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
sf_dotsenko@mail.ru*

Ключевые слова: волны цунами, прибрежная зона, усиление волн, распространение в бухтах, численное моделирование.

Модель нелинейных поверхностных длинных волн применена для численного анализа особенностей распространения волн типа цунами в прибрежной зоне Черного моря. С высоким пространственным разрешением рассмотрены амплитудные и энергетические характеристики одиночных поверхностных волн при выходе на мелководье и при распространении в бухтах. Оценено влияние на динамику волн донного трения и нелинейности, а также характеристик выходящей на шельф длинной волны. Рассчитаны условия обрушения волн при подходе к берегу.

Показано, что распределение высот волн в прибрежной зоне существенно зависит от положения сейсмического источника и его параметров. Наибольшей цунамиопасности подвержены ближайшие к источнику генерации участки черноморского по-

бережья. Морские заливы могут также приводить к локальному усилению волнового поля вдоль побережья при входе в залив одиночных волн.

Определены и сопоставлены характеристики волн типа цунами для восточного побережья Черного моря, Крымского полуострова и северо-западной части моря, а также ряда заливов черноморского региона.

ОЦЕНКА ЦУНАМИОПАСНОСТИ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИИ НА ОСНОВЕ ИСТОРИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Гусьяков В.К.^{1,2}, Чубаров Л.Б.², Никонов А.А.³, Ландер А.В.⁴,
Бейзель С.А.²**

¹ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²ИВТ СО РАН, г. Новосибирск, Россия

³ИФЗ РАН, г. Москва, Россия

⁴ИТП РАН, г. Москва, Россия

gvk@sscc.ru

Ключевые слова: цунами, моделирование, цунамирайонирование.

На протяжении XX века в Черном море не было случаев значительных цунами, поэтому его побережье в целом рассматривалось как область низкой цунамиопасности. Однако первые же систематические поиски исторических сведений, анализ археологических и геологических данных показали, что черноморское побережье имеет длинную (около 2500 лет) и насыщенную историю цунамигенных событий. Ранее опубликованные каталоги (Ranguelov et al., 1996; Никонов, 1997; Papadopoulos et al., 2011) содержали 20 – 25 случаев исторических цунами. Систематический поиск новых источников, предпринятый в рамках выполнения проекта РНФ 14-17-00219 «Оценка цунамиопасности побережья Курило-Камчатского региона, Японского, Охотского и Черного морей», увеличил это число до 40, среди которых ока-

зались разрушительные цунами с высотами до 7 – 8 м, вызвавшие гибельные последствия для целых городов (Диоскурия, Балчик, Пантикапей) и многих прибрежных поселений. В настоящее время практически все побережье Черного моря является районом плотной застройки, поэтому уровень цунами-риска многократно увеличился. В докладе рассматриваются количественные оценки цунамиопасности его побережья, полученные на основе нового подхода к задаче цунамирайонирования, включающего построение сеймотектонических моделей основных цунамигенных зон, угрожающих российскому побережью и применение численных методов расчета возбуждения и распространения цунами в акватории Черного моря.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙШЕВЫХ КОЛЕБАНИЙ В АЗОВСКОМ МОРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СГЛАЖЕННЫХ УРАВНЕНИЙ ГИДРОДИНАМИКИ

Сабурин Д.С., Елизарова Т.Г.

*МГУ, г. Москва, Россия
sabruin@physics.msu.ru*

Ключевые слова: регуляризованные уравнения мелкой воды, разностная схема, сейшевые колебания, Азовское море.

В рамках доклада рассмотрена задача о сейшевых колебаниях уровня Азовского моря. Постановка выполнена совместно с ГОИН имени Н.Н. Зубова.

Модель основана на двумерной системе уравнений мелкой воды в потоковой форме в декартовой системе координат с учетом факторов рельефа дна, силы Кориолиса, силы трения ветра о свободную поверхность, силы трения о дно. Численный алгоритм решения задачи основан на процедуре регуляризации уравнений мелкой воды (РМВ), что аналогично ранее разработанным алгоритмам решения уравнений сверхзвуковой газовой динамики. Достоинствами такого подхода являются: отсутствие

линеаризации уравнений, возможность расчета течений с зонами осушения и обводнения, возможность расчета как с силой трения о дно, так и без нее, эффективность в плане вычислительных затрат и естественная возможность для распараллеливания. Отметим, что в данной работе метод РМВ применяется впервые для расчета морского течения.

Расчеты проведены для реальной формы акватории Азовского моря для времени до 3 суток включительно на сетке 1521×1091 с шагами 250×250 м. Результатами расчетов являются полученные распределения уровней и полей скоростей течения, построенные изображения нестационарных вихревых течений. Исследованы эволюции уровня вблизи основных населенных пунктов, таких, как, Таганрог, Геничск, Керчь и других. Проведено сопоставление вариантов с трением и без. Работа поддержана грантами РФФИ 16-01-00048-а и 15-51-50023 ЯФ-а.

СИСТЕМА ТРЕНИНГОВ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ ЦИРКУЛЯЦИИ В БАССЕЙНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Кубряков А.И.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
alexander.kubryakov@mhi-ras.ru*

Для эксплуатации систем морских прогнозов, включающих подготовку необходимых данных, запуск системы, анализ результатов прогноза, необходимую модернизацию и пр., требуются кадры, обладающие специальными навыками и соответствующим уровнем подготовки. Одним из множества разделов оперативной океанографии, которые включены в сложный конгломерат системы морских прогнозов, является использование математических моделей циркуляции. В Морском гидрофизическом институте в рамках европейских проектов, направленных на создание систем диагноза и прогноза состояния морей (ASCABOS, ECOOP, MuOcean и др.), была разработана система тренингов по моделированию циркуляции в Черном море и его прибрежных районах, поскольку среди основных целей этих

проектов провозглашалось увеличение ресурсных возможностей посредством обучения молодых ученых и конечных пользователей.

Для достижения этой цели и была создана система тренингов по моделированию циркуляции. Тренинги состояли из теоретической части, включающей лекции по основам динамики Черного моря, средствам и методам оперативной океанографии, управлению данными, особенностям применения отобранных моделей циркуляции, и практических занятий. В настоящее время существуют большое разнообразие теоретических материалов разной степени углубленности по основам оперативной океанографии, как в печатном виде, так и в сети Интернет. Особенностью разработанной системы является её практическая часть, которая основана на использовании σ -координатной модели общей циркуляции Черного моря и методики построения локальных σ -координатных моделей с применением метода вложенных сеток.

На основе разработанной системы был проведен ряд тренинговых курсов, в том числе при поддержке Проектного Офиса по Международному обмену океанографическими данными МОК ЮНЕСКО, в которых принимали участие стажеры не только из причерноморских, но и из других стран.

СЕЙШЕВЫЕ КОЛЕБАНИЯ В МОРСКОМ БАССЕЙНЕ С ОТКРЫТЫМ ВХОДОМ

Манилюк Ю.В., Черкесов Л.В.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
vnmsev@yandex.ru*

Ключевые слова: сейши в бухте, длинные волны, волновые течения, мода Гельмгольца, бухта Круглая, аналитические решения.

Большинство морей на Земле имеют бухты, которые представляют собой бассейны с открытым входом. Они используют-

ся человеком для различных целей: устройства портов, пляжей, другой инфраструктуры. Изучение динамических процессов в бухтах имеет большую практическую ценность. Одним из пространственных явлений в ограниченных бассейнах являются сейши. При этом можно выделить как сейши всего водоема в целом, так и отдельных его бухт. Сейши в бухтах представляют опасность для судоходства. С ними связывают такое явление, как тягун – периодическое движение масс воды в гавани, направленное то в одну, то в другую сторону, при этом суда, стоящие на якорях и у причалов, совершают ритмические движения в такт движения воды и могут срываться с якорей, обрывать швартовы и т.д.

В настоящей работе исследуются сейшевые колебания в бухте методом получения аналитического решения системы уравнений длинных волн. Установлено, что сейши в бухтах существенно отличаются от сейш в полностью замкнутых бассейнах. Все моды сейш бухты имеют узловые линии, расположенные на выходе из нее. Спектр ее собственных колебаний содержит моду, которая отсутствует в полностью замкнутом бассейне. У этой моды, называемой модой Гельмгольца, нет узловых линий внутри бухты. При этом волновое течение происходит перпендикулярно входу в бухту, и его максимальная скорость не зависит от ширины и длины бухты. Волновые течения поперечных сейш в бухте (их узловые линии перпендикулярны входу в бухту) зависят от двух пространственных координат. При этом амплитуды их скоростей являются функциями ширины и длины бассейна. В случае продольных сейш (их узловые линии расположены параллельно входу в бухту) скорости течений перпендикулярны входу в бухту и их максимальные значения не зависят от ширины и длины бухты. Также выполнен расчет параметров сейш для бухты Круглой, находящейся в окрестностях г. Севастополя.

СЕКЦИЯ 2 «ФИЗИКА ОКЕАНА. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА»

МЕЗОМАСШТАБНЫЕ ПРОЦЕССЫ В АТМОСФЕРЕ ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

Ефимов В.В.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
vefim38@mail.ru*

Ключевые слова: модель WRF-ARW, квазидвумерные вихри, бора, вторжения холодного воздуха, аномалии температуры.

Черное море – спокойный полузамкнутый регион Мирового океана, для которого процессы взаимодействия с атмосферой играют определяющую роль. В атмосфере Черноморского региона под влиянием моря и окружающих гор развиваются характерные мезомасштабные структуры. Многие из них имеют экстремальный характер. Спутниковые данные дают возможность идентифицировать их, а численная модель региональной атмосферной циркуляции типа WRF-ARW – воспроизводить и изучить их структуру. Были исследованы несколько типов мезомасштабных процессов.

Краевые области горных хребтов Кавказских и Крымских гор являются зоной возбуждения распространяющихся над морем квазидвумерных вихревых структур, для которых исследованы структура и баланс энергии.

Выделены гидродинамические режимы экстремальных случаев Черноморской боры, определяющие особенности формирования структуры и порывистости струйных течений

Изучены экстремальные случаи вторжения холодного воздуха в атмосферу над Черным морем. Дано сравнение со спутниковыми снимками.

Численная модель WRF является удобным и эффективным инструментом для изучения широкого класса атмосферных процессов с масштабами от сотни метров до десятков километров.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ СТРАТИФИКАЦИИ

Репина И.А.

*ИФА РАН, г. Москва, Россия
repina@ifaran.ru*

Ключевые слова: взаимодействие атмосферы и океана, стратификация, турбулентные потоки, параметризации.

На основании данных специализированных экспериментов выполнено физическое описание механизмов взаимодействия атмосферы и морской поверхности при слабых, сильных ветрах, в прибрежных зонах и над неоднородной поверхностью. Проведена разработка параметризаций турбулентного обмена атмосферы и морской поверхности (открытой и покрытой льдом) при различных фоновых условиях.

Экспериментально подтверждена зависимость коэффициентов обмена и аэродинамической шероховатости от температурной стратификации при малых ветрах как над морской, так и над покрытой льдом поверхностью. Разработаны параметризации, позволяющие рассчитывать коэффициенты обмена при малых и умеренных ветрах с использованием стандартной метеорологической информации.

Из экспериментальных наблюдений обнаружено подавление турбулентного трения при ураганных ветрах над морской поверхностью, при снежных буранах и пыльных бурях. Предложено объяснение физического механизма данного явления.

Представлены характеристики турбулентного тепло-, массообмена для различных поверхностей, свойственных Арктике. Обнаружено усиление тепло-массообмена над польнями и разводьями за счет самоорганизации турбулентной конвекции.

Одновременные пульсационные и профильные измерения, в том числе и во время апвеллинга, позволили исследовать зависимость коэффициента сопротивления от числа Ричардсона, характеризующего стратификацию атмосферы. Таким образом, подтверждается теоретически предсказанная зависимость коэф-

фициента сопротивления и связанного с ним параметра шероховатости от стратификации атмосферы.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ФОРМЫ КЛИМАТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ СКОРОСТИ ВЕТРА И ВЫСОТ ВОЛНЕНИЯ НА МАСШТАБАХ ПЕРИОДОВ ОТ СУТОК ДО ГОДА

Полников В.Г., Погарский Ф.А.

*ИФА РАН, г. Москва, Россия
polnikov@mail.ru*

Ключевые слова: многолетние ряды, скорость ветра, высота ветрового волнения, спектры, уравнения динамики, интерпретация.

На акватории Индийского океана рассчитаны спектры шестичасовых рядов скорости ветра по данным реанализа ERA_Interim за период 1980 – 2015 гг. и шестичасовых рядов высот ветрового волнения, полученных путем численного моделирования с помощью улучшенной авторами версии модели WAM4. Показано, что в диапазоне масштабов изменчивости от суток до года в спектрах обоих типов имеются три области масштабов изменчивости: 1) 0,5 – 2 суток, 2) 2 – 10 суток, 3) 20 – 100 суток, в которых реализуются устойчивые и различающиеся степенные зависимости спектров от частоты.

С точностью порядка 10 – 15%, в приэкваториальной зоне широт спектры скорости ветра, в указанных трех областях периодов, имеют законы спадания: « -2 », « $-5/3$ » и « -0 », а во внеэкваториальной зоне широт, соответственно: « -2.5 », переходный наклон и « -0 ».

Спектры высот ветровых волн имеют четкую прямую связь со спектрами ветра во всех зонах широт со следующими индексами законов спадания: в первых двух областях периодов – на две единицы меньше, чем у спектров ветра, а в области 3) – закон « -0 ».

Путем привлечения уравнений Навье-Стокса дана физическая интерпретация указанных особенностей спектров для спектров ветра. Трактовка спектров высот волн дана на основе анализа уравнения эволюции спектра ветровых волн.

РЕЖИМЫ КРУПНОМАСШТАБНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ В НОРВЕЖСКОМ И БАРЕНЦЕВОМ МОРЯХ

Михайлова Н.В., Сизов А.А., Баянкина Т.М.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
Nataly.Mikhailova@mail.ru*

Ключевые слова: Североатлантическое колебание, приток атлантических вод, термохалинные характеристики, ледовитость Баренцева моря.

Прогноз будущих климатических изменений в Арктике невозможен без понимания физических механизмов крупномасштабных климатических сигналов и их влияния на параметры состояния системы океан-атмосфера. Североатлантическое колебание (САК) – это главная мода межгодовой изменчивости в системе океан-атмосфера Атлантико-Европейского региона. Смена фаз САК приводит к существенным изменениям поля ветра над Северной Атлантикой, потоков тепла и влаги, интенсивности штормов, их количества и т.д. и оказывает влияние на гидрофизические и гидрометеорологические характеристики морей атлантического сектора Арктики.

Предлагается новая схема взаимодействия океана и атмосферы в Северо-Европейских морях Арктического бассейна. В положительную фазу САК уменьшается объем поступления атлантических вод через Фареро-Шетландский пролив в Норвежское море, а также их удельная теплоотдача. Циклоническая деятельность над крайними морями Евро-Азиатского шельфа зимой в положительную фазу САК активизируется. Траектории циклонов смещены к северу, что способствует адвекции теплого

воздуха на акваторию северных морей, причем в районе Баренцева моря повышается частота ветров южных направлений. Температура воды в этот период в Нордкапском течении повышается, а ледовитость Баренцева моря – снижается. Процессы в системе океан – атмосфера – лед Западной Арктики в отрицательную фазу САК протекают в противоположном направлении.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЗОМАСШТАБНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ

Шокуров М.В.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
shokurov.m@gmail.com*

Ключевые слова: мезомасштабные атмосферные процессы, мезомасштабные атмосферные модели.

Приводятся результаты численного моделирования мезомасштабных атмосферных процессов в Черноморском регионе с использованием мезомасштабных региональных моделей *MM5* и *WRF*. Представлены задачи, которые решаются с помощью данных моделей в Морском гидрофизическом институте РАН: региональный оперативный прогноз погоды, региональный атмосферный реанализ, планирование проведения натурных экспериментов, анализ отдельных синоптических ситуаций.

Описаны результаты мезомасштабного оперативного прогноза природных катастрофических явлений в Черноморском регионе: сильных штормов на акватории Черного моря (11 ноября 2007 г.) и паводков, вызванных сильными ливневыми осадками (Крымск, 6 – 7 июля 2012 г.).

Приведены результаты моделирования реальных мезомасштабных процессов в Черноморском регионе, таких как квазитропический циклон, образование подветренных вихрей при обтекании Кавказских гор, генерация вертикально захваченных внутренних волн над Крымскими горами, развитие бризовой

циркуляции над Крымским полуостровом, формирование боры, проявляющейся в значительном усилении ветра и сильном похолодании, и других.

ГРАВИТАЦИОННОЕ ТЕЧЕНИЕ В ОДНОРОДНОМ ПОТОКЕ ВОЗДУХА

Шокуров М.В., Краевская Н.Ю.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
shokurov.m@gmail.com*

Ключевые слова: гравитационное течение, бриз, число Фруда.

Гравитационные или плотностные течения, вызванные градиентом плотности, широко распространены в природе. Структура и динамика гравитационных течений в различных средах и на разных пространственных и временных масштабах являются универсальными. В атмосфере плотностное течение является элементом структуры бризовой циркуляции.

Обычно бриз существует совместно с синоптическим фоновым ветром, который влияет на формирование бриза.

Для исследования влияния синоптического ветра на развитие и распространение гравитационных течений проводились лабораторные, натурные эксперименты, а также численные эксперименты с помощью различных моделей. На основе полученных данных в ряде работ были построены эмпирические зависимости скорости распространения фронта и высоты гравитационного течения от скорости фонового ветра.

В данной работе для объяснения полученных ранее эмпирических зависимостей построена аналитическая теория. Она справедлива для гравитационного течения, которое распространяется стационарно в однородном потоке воздуха. Построенная теория основана на законе сохранения массы для расхода течения и универсальности числа Фруда. Показано, что для определённого диапазона значений скорости фонового ветра зависимость скорости распространения фронта гравитационного тече-

ния можно описать линейной функцией. Полученное численное значение наклона зависимости скорости течения от скорости фонового ветра является универсальной постоянной, которая не зависит ни от расхода течения, ни от числа Фруда.

ЧИСЛЕННЫЕ МОДЕЛИ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА: ДИНАМИКА И ТЕРМОДИНАМИКА МОРСКОГО ЛЬДА, ГИДРОТЕРМОДИНАМИКА ОКЕАНА И НЕОДНОРОДНЫЕ ПОГРАНИЧНЫЕ СЛОИ

Яковлев Н.Г.

*ИВМ РАН, г. Москва, Россия
nick_yakovlev@mail.ru*

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, модели, вихри, морской лед, высокое разрешение.

Благодаря своему географическому положению Северный Ледовитый океан (СЛО) – одна из наименее изученных областей Мирового океана. Сеть наблюдений все еще крайне разрежена, а изменения климата ограничивают применимость статистических методов. Поэтому численные модели имеют большое значение для диагноза и прогноза состояния СЛО. Опыт международной деятельности моделирования СЛО показывает, что многие проблемы, сформулированные более 15 лет назад, до сих пор остаются на повестке дня. Это может быть объяснено сложной, связанной друг с другом нелинейной динамикой полярного океана, морских льдов и подледного пограничного слоя. В докладе обсуждаются механизмы, влияющие на крупномасштабное состояние СЛО:

- 1) мезомасштабные вихри;
- 2) субмезомасштабные вихри;
- 3) дифференциальная диффузия;
- 4) внутренние приливы;
- 5) динамика и термодинамика морского льда;
- 6) подледный пограничный слой.

Таким образом, Северный Ледовитый океан – это регион с богатым набором нелинейностей в океане, морском льду и в турбулентном слое подо льдом. Некоторые специфические процессы СЛО описываются в современных численных моделях, некоторые нет. Сейчас мы, как видно из доклада, находимся в точке, когда требуются новые постановки задачи, новые параметризации и новые численные методы для моделей СЛО высокого пространственного разрешения.

Работа поддержана РФФИ, проект №16-55-76004-ERA_a “Amending North Atlantic Model Biases to Improve Arctic Predictions”.

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СОСТОЯНИИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА АРКТИКИ И ВОЗМОЖНЫЕ СЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ДРУГИХ КОМПОНЕНТ АРКТИЧЕСКОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Иванов В.В.

*Гидрометцентр России, г. Москва, Россия
АНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
vladimir.ivanov@aari.ru*

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, морской лед, течения, взаимодействие океана и атмосферы, конвекция в океане.

Представляет большой научный и практический интерес количественная оценка современного состояния параметров климатической системы Земли, а также обоснованный прогноз этих параметров на последующие десятилетия. В этой связи Арктика занимает особое место, как индикатор происходящих изменений, вследствие известного эффекта полярного усиления. Знаковым проявлением меняющегося климата Земли является резкое увеличение свободной ото льда площади в Северном Ледовитом океане (СЛО) в летний сезон, произошедшее в начале 2000-х годов.

Совместный анализ временных рядов параметров ледяного покрова, атмосферы и океана в атлантическом секторе Арктики позволяет предположить, что возрастание сезонности ледяного покрова СЛО привело к усилению роли атлантической воды (АВ) в уменьшении объема льда, так называемой, «атлантификации» СЛО.

При дальнейшем уменьшении летнего ледяного покрова атлантические воды, поступающие через пролив Фрама и через Баренцево море, будут медленнее терять свое тепло в силу того, что теплопотери на таяние льда заметно уменьшатся. В результате, АВ, как поверхностная водная масса с положительной температурой, сможет проникнуть в Арктический бассейн на значительно большее расстояние, чем наблюдавшееся в среднем в XX веке.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТОКА СИБИРСКИХ РЕК В XXI ВЕКЕ НА БАЛАНС ПРЕСНОЙ ВОДЫ В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ

Кузин В.И., Платов Г.А., Лаптева Н.А.

*ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск, Россия
kuzin@scc.ru*

Ключевые слова: речной сток, Северный Ледовитый океан, численное моделирование, циркуляция океана.

В работе представлены расчеты по моделированию распространения аномалий пресной воды от сибирских рек в XXI веке в Северном Ледовитом океане по модели ИВМиМГ СО РАН на основе результатов моделей сценария RCP 8.5 проекта CMIP-5 IPCC. Для расчета стоков рек используется линейная резервуарная модель с разрешением $1/3$ градуса, включающая одиннадцать основных водосборных бассейнов Сибири. Крупные реки российского Севера дают около 70% от всего речного стока. Суммарные годовые расходы за периоды измерений в XX веке претерпевают существенные межгодовые вариации. Эта вода,

будучи вынесена в виде льда или потока воды пониженной солености за пределы Северного Ледовитого океана в северные моря Атлантики, является существенным регулятором в формировании термохалинной структуры и меридиональной циркуляции не только Северной Атлантики, но и всего Мирового океана. Интересным представляется вопрос: будет ли процесс увеличения речного стока, наблюдавшийся в конце XX и начале XXI века, продолжаться и в дальнейшем, продуцируя обратные связи в климатической системе. Какие факторы влияют на эти процессы? В расчетах по моделям IPCC в течение столетия наблюдаются квазидесятилетние колебания. Причины этого могут определяться изменениями индекса Арктической осцилляции (АО), что требует дополнительной проверки.

ДИНАМИКА РЕГИОНАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОРСКОГО ЛЬДА В АНТАРКТИКЕ

Букатов А.Е., Букатов А.А., Бабий М.В.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
newisland@list.ru*

Ключевые слова: Антарктика, площадь морского льда, изменчивость площади льда, аномалии площади льда, кромка морского льда.

Выполнено исследование межгодовой и сезонной изменчивости регионального распределения морского льда в Антарктике на основе среднемесячных данных о его сплоченности за период 1970 – 2012 гг. Рассмотрена пространственно-временная эволюция положения внешней кромки ледового пояса, окружающего Антарктиду, и выявлены проявления региональных особенностей его изменчивости в атлантическом, индийском и тихоокеанском долготных секторах. На основе спектрального анализа выделены наиболее значимые по спектральной плотности временные циклы отклонений среднемесячных значений широты положения кромки от его линейного тренда.

Дана оценка корреляционной связи внутригодовой региональной изменчивости сплоченности морского льда в акватории Южного океана и положения кромки льда с изменениями чисел Вольфа солнечной активности.

Показано, что на межгодовом масштабе изменение площади льда в рассматриваемых регионах Южного океана характеризуется положительным трендом. При этом изменения в восточной Антарктике значительно больше, чем в западной. Величина тренда в индийском, атлантическом и тихоокеанском секторах убывает в порядке перечисления секторов. Экстремальные положительные и отрицательные аномалии площади льда реализуются в весенний сезон. На фоне однонаправленных изменений (линейных трендов) отмечаются циклические колебания разных временных масштабов в годы проявления событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья.

Наиболее выраженная корреляционная связь изменения площади морского льда с индексом Южного колебания проявляется в восточном регионе Антарктики, а с индексом Антарктического колебания – в западном.

ИЗМЕНЕНИЕ ПЛАНЕТАРНОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО РЕЖИМА НА РУБЕЖЕ XX – XXI ВЕКОВ И ЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ ОСАДКОВ В МОНГОЛИИ, НА ЮГЕ СИБИРИ И ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ

**Пономарев В.И., Дмитриева Е.В., Шкорба С.П.,
Карнаухов А.А.**

*ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
pvi711@yandex.ru*

Ключевые слова: океан, атмосфера, поток тепла, аномалии, осадки, Сибирь, Дальний Восток.

Представлены результаты исследования изменения климатического режима в системе океан-атмосфера, включающего су-

щественные многолетние аномалии потоков тепла на поверхности суши и океана, приземного атмосферного давления, влагосодержания атмосферы, осадков, температуры воздуха, температуры поверхности океана (ТПО). Использовались временные ряды измерений на метеорологических станциях, средние месячные данные метеорологического реанализа NCEP NCAR с 1948 по 2016 гг., а также ТПО Рейнольдса и Хэдли центра для Мирового океана. Применялись различные статистические методы анализа временных рядов, в том числе методы главных компонент и кластерного анализа.

Выявлен значительный сдвиг климатического режима на рубеже XX – XXI веков в Азиатско-Тихоокеанском и Индо-Тихоокеанском регионах, Атлантическом и Южном океанах. Показаны значительные региональные аномалии климата и экстремальные аномалии осадков противоположного знака в Монголии, на Юге Сибири и Дальнего Востока, обусловленные резким изменением многолетнего климатического режима планетарного масштаба. Определены сценарии летних и зимних аномалий метеорологических условий в отмеченных районах Азии умеренных широт, а также их связь с аномалиями в различных районах Тихого, Индийского, Южного океанов и Арктики. Показаны особенности развития аномалий ТПО и результирующего потока тепла в северной части Тихого океана в 2014 – 2015 гг. Определена их связь с аномалиями циркуляции атмосферы, экстремальным ростом летних осадков и разливом озера Ханка в Приморском крае в 2015 – 2016 гг., а также с дефицитом осадков в бассейне озера Байкал и экстремальным падением его уровня в 2015 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ХОЛОДНЫХ АНОМАЛИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Барабанов В.С., Ефимов В.В.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
wbarbs@gmail.com*

Ключевые слова: численное моделирование, термоклин, вовлечение, температура поверхности, аномалии, Черное море.

Отдельные случаи холодных аномалий температуры поверхности Черного моря воспроизведены с использованием мезомасштабной атмосферной модели WRF-ARW с подключенным блоком 3dPWP, представляющим собой упрощенную трехмерную гидродинамическую модель верхнего слоя моря. В качестве входных данных использовался полуградусный массив оперативного анализа GDAS. Горизонтальный шаг сетки во внутреннем расчетном домене составлял 3 км.

Численные эксперименты позволили воспроизвести основные особенности и выделить физический механизм быстрого развития холодной аномалии. Показано, что главной причиной быстрого охлаждения является вовлечение холодной воды из термоклина, которое приводит к резкому заглублению верхнего квазигомогенного слоя. На основании полученных результатов анализируются возможности совместных моделей атмосфера – море с двусторонним обменом данными для организации оперативного прогноза метеорологических и океанологических параметров в Черноморском регионе.

НЕСТАЦИОНАРНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРЫ И МОРЯ НА СУБМЕЗОМАСШТАБАХ

Чухарев А.М.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
alexchukh@mail.ru*

Ключевые слова: турбулентность, взаимодействие атмосферы и моря, нестационарная модель, субмезомасштабы.

Экспериментальные данные демонстрируют существование значительных неоднородностей на многочасовых масштабах в сопряженных слоях атмосферы и моря, что говорит о более сложных механизмах взаимодействия, чем обычно представленных в большинстве моделей, когда учитываются только суточные или синоптические колебания физических параметров. Такие субмезомасштабные структуры могут значительно влиять на интенсивность обменных процессов.

Для описания динамики приповерхностного слоя моря на сравнительно коротких временных масштабах разработана численная модель с учетом нестационарного динамического воздействия атмосферы. Исходными уравнениями являлись уравнения баланса импульса и турбулентной кинетической энергии. Последнее отличается от обычно используемого дополнительным членом, описывающим взаимодействие поверхностного волнения и турбулентности. Энергия поверхностного волнения рассчитывалась по модельным формулам Донелана, генерация и диссипация турбулентной энергии выражались через масштабы скорости и длины, основным входным параметром являлась скорость ветра. Расчеты по нестационарной модели сопоставлялись с натурными измерениями, проводившимися на океанографической платформе МГИ в п. Кацевели и с расчетами по другим моделям. Показано, что учет периодичности ветрового воздействия на морскую поверхность приводит к заметному изменению распределения скорости диссипации турбулентной энергии по глубине и лучше согласуется с натурными измерениями, чем расчеты по стационарным моделям.

СУБМЕЗОМАСШТАБНЫЕ СТРУКТУРЫ БЕЛОГО МОРЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Родионов А.А., Зимин А.В., Романенков Д.А., Сафрай А.С.,
Ткаченко И.В.

*СПбФ ИО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия
sppp@spbrc.nw.ru*

Ключевые слова: внутренние волны, вихревые структуры, фронтальные зоны, эксперимент, моделирование.

Излагаются результаты исследований гидрофизических процессов и явлений в Белом море с масштабами сотни метров – десятки километров и единицы минут – сутки. Натурные исследования проводились в 2007 – 2015 гг. в летний период и включали морские полигонные измерения и дистанционные спутниковые наблюдения короткопериодных внутренних волн (ВВ), вихревых структур и фронтальных зон. Показано:

– в глубокой части моря ВВ имеют полусуточный период; на участках шельфа вблизи фронтальных зон интенсивные короткопериодные ВВ фиксируются каждый приливной цикл; их высота сопоставима с толщиной верхнего однородного слоя; длины волн меняются от 100 м до 2 км, периоды – от единиц до десятков минут;

– субмезомасштабные вихри распространены на акваториях Двинского залива и Бассейна в районах фронтов и свала глубин; обладают преимущественно циклоническим характером вращения и диаметром от 2 до 8 км;

– фронтальные зоны в Горле, Двинском и Онежском заливах, около Соловецких островов включали от 2 до 6 фронтов; в положении фронтальных разделов хорошо прослеживалась внутрисезонная, синоптическая и приливная динамика.

Моделирование выполнено на основе негидростатической версии уравнений геофизической гидродинамики. Теоретические результаты позволили объяснить наблюдаемые факты распространения короткопериодных волн через акваторию моря и

изменения структуры полей при трансформации приливных ВВ на неоднородностях рельефа дна.

МОРСКИЕ БРЫЗГИ ПРИ СИЛЬНЫХ ВЕТРАХ: МЕХАНИЗМЫ ГЕНЕРАЦИИ И РОЛЬ В ЭНЕРГЕТИКЕ УРАГАНОВ

Троицкая Ю.И.

*ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия
yuliya@hydro.appl.sci-nnov.ru*

Ключевые слова: брызги, ураган, океан, атмосфера, скоростная видеосъемка.

Морские брызги, выбрасываемые с поверхности моря при сильном ветре, являются одним из самых неопределенных факторов в развитии штормов и ураганов. В частности, отличия в концентрации брызг в приводном слое атмосферы, приводимые различными авторами, достигают 3-х порядков. Это обусловлено большими трудностями в проведении измерений. Кроме того, неопределенность механизма генерации брызг при ураганном ветре не дает возможности произвести обоснованные теоретические оценки.

В данном сообщении представлены результаты исследований механизмов генерации брызг при сильном и ураганном ветре, которые проводятся в ИПФ РАН. С помощью скоростной видеосъемки выявлен доминирующий механизм генерации брызг при сильном ветре. Показано, что она связана с явлением, при котором вблизи гребней поверхностных волн на поверхности воды формируются и развиваются объекты, представляющие собой тонкостенные «мембраны», раздуваемые воздушным потоком, которые затем «взрываются» с образованием большого числа брызг.

Полученные результаты меняют современные представления о механизме генерации брызг при шторме. Построена количественная модель «мембранного механизма», в рамках которой

можно развивать физически обоснованные модели переноса энергии между океаном и атмосферой при штормах, которые требуются для их прогноза. В частности, показано, что новый механизм генерации брызг позволяет объяснить значительное увеличение потока тепла из океана в атмосферу при ураганном ветре. Кроме того, явление генерации брызг с помощью «мембранного» механизма позволяет объяснить необычные особенности поведения коэффициента аэродинамического сопротивления при ураганном ветре.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ ЧЕРНОГО МОРЯ В 2005 – 2006 ГГ.

Мизюк А.И., Сендеров М.В., Кубряков А.А.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
artem.mizyuk@yandex.ru*

Ключевые слова: мезомасштабные вихри, численное моделирование циркуляции, вихревая динамика, структура вихрей.

Мезомасштабные вихри являются одними из важнейших элементов циркуляции в Черном море. Ранее были предложены оригинальные методики их изучения на основе спутниковых данных. В частности, исследование вихревой динамики выполнено на основе процедуры автоматической идентификации вихрей в поле уровня, полученного на основе альтиметрических измерений. Такой тип измерений, однако, не позволяет судить об их 3-мерной структуре. Кроме того, эти данные имеют недостаточное пространственное разрешение для анализа субмезомасштабных структур.

Представление о квазинепрерывной четырехмерной эволюции синоптических вихрей можно получить на основе полей скоростей течений по результатам вихреразрешающего численного моделирования.

В настоящей работе сделана попытка адаптации процедуры автоматической идентификации вихревых структур к четырехмерным полям скоростей течений, полученных в результате прогностического расчета с пространственным разрешением 2,5 км.

Представлены результаты идентификации мезомасштабных вихрей: пространственные статистические характеристики (радиусы вихрей, время жизни, положение), а также показана 3-мерная структура отдельных интенсивных вихрей.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-05-00264).

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ ЧЕРНЫМ МОРЕМ И АТМОСФЕРОЙ В ЗИМНИЕ СЕЗОНЫ 1971 – 1991 ГОДОВ

Ратнер Ю.Б., Коротаев Г.К.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
yubrat@gmail.com*

Ключевые слова: реанализ, Основное Черноморское течение, адвективный перенос тепла, теплозапас верхнего слоя моря, теплообмен моря и атмосферы, межгодовая изменчивость зимних температур.

Реанализ трехмерных полей температуры воды и скоростей течений Черного моря в январе – марте 1971 – 1991 гг. используется для исследования пространственных особенностей распределения температуры поверхности моря, теплозапаса верхнего слоя и потоков тепла на поверхности моря вблизи кавказского побережья и у Южного берега Крыма. Показано, что в этих районах в зимний сезон в верхнем слое моря наблюдается струя теплых вод и повышенные потоки тепла из моря в атмосферу. Оценено возможное влияние отмеченных особенностей на межгодовую изменчивость зимних температур воздуха Сочи и Ялты.

Результаты сопоставления среднемесячных величин потоков тепла из моря в атмосферу со среднемесячными величинами температуры воздуха по данным двух гидрометеорологических станций, для двух районов Черного моря вблизи Сочи и Ялты свидетельствуют о наличии связи между этими параметрами.

Однако, наряду с локальными потоками тепла, на среднемесячные температуры в районе Ялты и Сочи оказывают влияние глобальные атмосферные процессы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что часть изменчивости температур воздуха в Ялте и Сочи может быть обусловлена изменчивостью среднего по морю потока тепла из атмосферы в море, модулируемому глобальными атмосферными процессами. Совместно изменчивость связанных с теплой струей и средних по морю потоков тепла позволяет объяснить 62% дисперсии изменчивости температуры воздуха в течение морского зимнего климатического сезона в Ялте и 45% дисперсии изменчивости температуры воздуха на метеостанции Сочи.

ВОЛНОВОЙ ПОДЪЁМ ВОД НАД СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКИМ ХРЕБТОМ В РАЙОНЕ АЗОРСКОГО ФРОНТА

Мельников В.А.

*ИО РАН, г. Москва, Россия
vmelnikov@ocean.ru*

Ключевые слова: Азорский фронт, мезомасштабная изменчивость, внутренние приливные волны, режимы обтекания рельефа дна, апвеллинги, спутниковые данные, модель рельефа дна ETOPO1.

На основе гидрофизических измерений, проведённых в экспедиции Института океанологии РАН, в апреле-июле 1980 г., в квадрате 27 – 37°с.ш., 27 – 40°з.д., с использованием современных спутниковых данных измерений температуры поверхности

океана (Pathfinder, v.5), аномалий уровня моря (Aviso) и модели глубин океана ETOPO-1, рассматривается мезомасштабная изменчивость в области Азорского фронта, над Срединно-Атлантическим хребтом (САХ), в 300-х милях к юго-западу от Азорских островов.

Три (за двухмесячный период) последовательные гидрологические съёмки, инструментальные измерения течений и температуры на 13-ти автономных буйковых станциях, общей продолжительностью около 1,5 мес., оперативные разрезы верхнего 500-метрового слоя по ходу судна при помощи теряемых термозондов, а также моделирование процессов, позволили интерпретировать пространственно-временные особенности поля температуры, наблюдаемые над САХ, как полусуточные внутренние волны первой моды с длиной волны 120 км, которые распространяются от хребта к юго-востоку. В поле температуры поверхности океана по спутниковым данным постоянно наблюдаются параллельные оси САХ полосы холодных вод, шириной порядка 100 км, протяжённостью до 500 км, которые вытянуты вдоль изолиний фаз полусуточной внутренней волны. Совместный анализ контактных и спутниковых данных показывает, что полосы возникают при подъемах глубинных вод, вызванных внутренней волной.

Волновые апвеллинги оказывают существенное влияние на процессы смешения водных масс умеренных широт и субтропических вод в районе Азорского фронта.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ №14-05-00159 и №15-05-04198.

ЗИМНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ В РАЗНЫЕ ФАЗЫ СЕВЕРОАТЛАНТИЧЕСКОГО КОЛЕБАНИЯ

Баянкина Т.М., Сизов А.А., Михайлова Н.В., Юровский А.В.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
bayankina_t@mail.ru*

Ключевые слова: Североатлантическое колебание, аномалии гидрометеорологических характеристик, атмосферный форсинг.

Гидрометеорологические характеристики поверхности Черного моря в зимние месяцы формируются под воздействием циркуляции атмосферы в Атлантико-Европейском секторе, представляемой индексом Североатлантического колебания (САК). Надежные инструментальные наблюдения со второй половины прошлого столетия позволяют воспроизвести реакцию поверхности моря на атмосферное воздействие. При анализе учитывались известные особенности взаимодействия атмосферы и моря в его западной и восточной частях.

Результаты исследования показали, что в выбранном временном интервале (1979 – 2014 гг.) хорошо выделяются две группы лет с максимальными (1985 – 1994 гг.) и минимальными (2005 – 2014 гг.) значениями индекса САК. Для этих групп лет были получены оценки аномалий гидрометеорологических характеристик в атмосферном пограничном слое и на поверхности моря. Найдено, что для максимальных значений индекса САК ($САК_{\max}$) приземное давление над Черным морем выше, а скорости ветра ниже среднего многолетнего. При этом испарение с поверхности моря превышает осадки, что приводит к выхолаживанию поверхности моря и, соответственно, к понижению его температуры. Процессы при минимальных значениях индекса САК ($САК_{\min}$) протекают в обратном направлении. Показаны особенности формирования аномалий гидрометеорологических характеристик в западной и восточной частях Черного моря. Также рассмотрены пространственные особенности атмосфер-

ного форсинга (касательное напряжение ветра и суммарная теплоотдача) на поверхность моря при разных фазах САК.

ТЕРМОХАЛИННАЯ И ДИНАМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СИНОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ

**Кубряков А.А., Багаев А.В., Станичный С.В.,
Белокопытов В.Н.**

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
arskubr@ya.ru*

Ключевые слова: Черное море, вихри, термохалинная структура, вертикальная скорость, вихревая динамика.

В работе используется метод автоматической идентификации вихрей, основанный на измерениях спутниковых альтиметров, и данные гидрологических зондирований за 1993 – 2014 гг. для исследования термохалинной и динамической структуры синоптических вихрей Черного моря. Показано, что структура вихрей в поле геострофической скорости асимметрична, что связано с влиянием фоновых течений. Определены аномалии солёности и температуры в вихрях различного знака. Найдена связь между интенсивностью вихря, определенной по данным альтиметра, положением пикноклина в нем и суммарной аномалии солёности. Исследовано влияние интенсивности вихря на аномалии солёности и температуры. Изучен сезонный ход аномалии солёности и температуры в вихрях. Показано, что наибольшие аномалии наблюдается в середине жизни вихря. В первую половину жизни в антициклоне пикноклин заглубляется, достигая самого низкого положения в центре существования вихря, затем пикноклин начинает подниматься до средних значений. Аналогичная, но обратная ситуация наблюдается в циклонах. На основе вертикального смещения изопикн получены профили вертикальной скорости в вихрях различного знака. На основе данных о термохалинной структуре вихрей даны оценки вихревого транспорта соли в Черном море.

Работа Кубрякова А.А. выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16-35-60036 мол_а_дк. Работа Багаева А.В. выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16-05-00264 А.

ВКЛАД МЕЛКОМАСШТАБНЫХ И МЕЗОМАСШТАБНЫХ ДВИЖЕНИЙ В ДИНАМИКУ ВОД АЗОВСКОГО И ЧЕРНОГО МОРЕЙ

Инжебейкин Ю.И.

*ИАЗ ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия
uinzheb@mail.ru*

Ключевые слова: Азовское море, Черное море, мелкомасштабная изменчивость, мезомасштабная изменчивость, сейши.

Исследуется мелкомасштабная изменчивость температуры воды и солёности в Азовском и на северо-восточном шельфе Черного моря на основе данных, полученных с борта судна по определенной сетке станций с помощью малоинерционных, высокоточных приборов. Поскольку изменения температуры и солёности в выбранном пространственно-временном диапазоне представляют собой выраженный случайный процесс, то для их описания использовались методы вероятностного анализа и математической статистики. Определены параметры мелкомасштабной изменчивости на отдельных участках Азовского и северо-восточной части Черного моря, оценивается вклад мелкомасштабной изменчивости в общую дисперсию температуры воды и солёности. Выполнено районирование Азовского и северо-восточного побережья Черного моря по вкладу мелкомасштабной изменчивости в общую изменчивость гидрологических элементов.

На основе численного моделирования и анализа данных наблюдений над уровнем моря дается оценка вклада первых пяти мод сейшевых движений в формирование экстремальных уровней в Азовском море. Рассматривается возможный меха-

низм кратковременных катастрофических наводнений в популярных рекреационных зонах Азовского моря.

МАССО- И СОЛЕОБМЕН МЕЖДУ ЦЕНТРОМ И ПЕРИФЕРИЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ, ВЫЗВАННЫЙ ИЗМЕНЧИВОСТЬЮ КРУПНОМАСШТАБНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

Кубрякова Е.А., Кубряков А.А.

ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия

elena_kubryakova@mail.ru

Ключевые слова: горизонтальный перенос, Черное море, боксовая модель, экмановский перенос, вертикальная циркуляция, альтиметрия.

Настоящая работа посвящена изучению влияния крупномасштабной динамики Черного моря на сезонную изменчивость массо- и солеобмена в бассейне. В зимний период при увеличении циклонической завихренности ветра в центре моря возникает дивергенция и наблюдается отток соленых вод из центра на периферию бассейна. Летом при ослаблении дивергенции опресненная вода притекает обратно в центр моря. В работе на основе альтиметрических измерений уровня выделены зоны дивергенции и конвергенции вод, связанных с действием крупномасштабной завихренности ветра. По данным альтиметрии оценена изменчивость хода уровня в различных частях моря и интенсивности оттока вод в различные сезоны. Для изучения горизонтального обмена в работе была создана боксовая гидродинамическая модель Черного моря, основанная на РОМ. На основе модельных расчетов проведены оценки массо- и солеобмена в бассейне. Показано, что в поверхностном слое вод экмановская дивергенция вносит значительный вклад в отток соли из центра моря. В глубинных слоях действие вертикальной ячейки циркуляции приводит к транспорту вод континентального склона в центральную часть моря.

Работа Кубрякова А.А. выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16-35-60036 мол_а_дк.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТЕРМОХАЛИННОГО РЕЖИМА В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ В ПЕРИОД «БОЛЬШОГО ЗАТОКА»

Щука С.А.¹, Rak D.², Соловьев В.А.¹, Stańkiewicz A.³

¹ИО РАН, г. Москва, Россия

²ИО ПАН, г. Сопот, Польша

³Морской институт в Гданьске, г. Гданьск, Польша
s_shchuka@mail.ru

Ключевые слова: Балтийское море, «Большой заток», термохалинный режим.

По сообщению немецких ученых, с 13 по 26 декабря 2014 г. произошел заток соленых, обогащенных кислородом североморских вод в Балтийское море. Это третий по мощности заток соленых вод с 1880 г. – начала наблюдений на Балтике, – и самый мощный заток с 1951 г. При этом в Балтийское море поступило порядка 4 Гт соли.

В ходе выполнения в 2014 – 2016 гг. рейсов на НИС «Оцеания» (Польша), НИС «Академик Иоффе» (Россия) и НИС «Академик Мстислав Келдыш» (Россия) получен уникальный массив данных измерений температуры, солености, кислорода и течений на протяженных высокоразрешенных разрезах и изучена динамика термохалинного режима. На восточном склоне Слупского порога – ключевого района в водообмене Балтийского моря, – выполнены постановки автономного профилирующего комплекса «Аквалог», который в процессе зондирования измерял вертикальное распределение температуры, солености, кислорода, флюорисценции, мутности, скорости и направления течений в автоматическом режиме с интервалом 2 часа. Результаты, полученные с помощью «Аквалога», показали, что характер водообмена в районе Слупского порога в «стагнацион-

ный)/«беззатоковый» период и в период «Большого затока» остается неизменным – импульсные переливы.

Для региона Южной и Юго-Восточной Балтики проведенные исследования оказались весьма важными с точки зрения решения прикладных и фундаментальных задач. Прежде всего, получены данные, необходимые для моделирования и прогноза гидродинамических параметров в условиях «Большого затока».

РАСТВОРЕННОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В ВОДАХ АЗОВСКОГО МОРЯ И КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА НА БАЗЕ ОПТИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Ломакин П.Д., Чепыженко А.И., Чепыженко А.А.

ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия

p_lomakin@mail.ru, ecodevice@yandex.ru, annachep87@yandex.ru

Ключевые слова: Керченский пролив, Азовское море, растворенное органическое вещество.

По результатам серии экспедиций, проведенных сотрудниками МГИ, впервые получены представления об источниках и структуре поля концентрации растворенного органического вещества (РОВ) в водах Азовского моря и Керченского пролива.

Поле РОВ в Азовском море неоднородно. Выявлено, что на преобладающей части его акватории концентрация РОВ (1 – 3 мг/л) существенно ниже имевшихся расчетных оценок (~10 мг/л). Для вод Черного моря данные наших измерений совпали с полученными ранее определениями содержания этого вещества (~2 мг/л). Для Азовского моря обнаружена тесная обратная корреляционная связь между соленостью и содержанием РОВ, подтверждающая положение, что речной сток – один из основных источников РОВ в море. Однако показано, что как фактор, формирующий поле РОВ, он значим лишь для небольших акваторий восточного и северного побережья. Трансформированные же речные воды с высоким содержанием РОВ не проникают в южные области моря и Керченский пролив.

В Керченском проливе в поле РОВ обнаружен фронтальный раздел, совпадающий с основным термохалинным фронтом, разграничивающим взаимодействующие в проливе азовоморские и черноморские воды. Выявлены признаки вертикальной структуры поля содержания РОВ в Керченском проливе. В чистых азовоморских водах РОВ слабо стратифицировано. В чистых черноморских водах в слое скачка плотности отмечен максимум концентрации РОВ. Для загрязненных участков типичен ярко выраженный немонотонный профиль РОВ(z) с тонкоструктурными интрузионными признаками. Природное поле РОВ рассмотренных акваторий часто искажается линзами с высокой концентрацией РОВ (4 – 18 мг/л), обусловленными антропогенным воздействием.

СЕКЦИЯ 3 «ДАННЫЕ НАТУРНЫХ И ДИСТАНЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ. СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ И ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ»

ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩИЙ ПОЛИГОН ИО РАН В ШЕЛЬФОВО-СКЛОНОВОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Зацепин А.Г.¹, Куклев С.Б.²

¹ИО РАН, г. Москва, Россия

²ЮО ИО РАН, г. Геленджик, Россия
zatsepin@ocean.ru, kuklev@ecologpro.ru

Ключевые слова: Черное море, прибрежная зона, автономные станции, результаты регулярных долговременных измерений.

С целью развития прибрежной черноморской наблюдательной системы в 2010 – 2013 гг. в прибрежной зоне Черного моря в районе г. Геленджик на базе Южного отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН развернут постоянно действующий полигон, предназначенный для перманентного мониторинга состояния водной среды и биоты. Основу полигона составляют автономные заякоренные и донные станции, измеряющие профили гидрофизических параметров с высоким пространственно-временным разрешением. Выполняются также регулярные судовые разрезы с комплексными исследованиями состояния морской экосистемы. Получаемые данные используются для изучения масштабов и механизмов изменчивости морской экосистемы под влиянием антропогенных и естественных (в т. ч., климатических) воздействий, водообменных процессов в системе «шельф-глубоководный бассейн», а также многих других явлений физической, химической и биологической природы. Данные регулярных контактных измерений востребованы для калибровки спутниковых измерений и верификации результатов численного моделирования циркуляции вод. Предлагается рас-

пространение методов и средств полигонного мониторинга прибрежной водной среды и биоты на другие сектора Черного моря с целью создания единой системы мониторинга шельфово-склоновой зоны Черного моря.

Работа выполнена в рамках Соглашения №14.577.21.0110 УИН RFMEFI57714X0110 с Минобрнауки РФ.

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ РАДИОЛОКАЦИИ, ПРЯМЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ивонин Д.В.¹, Мысленков С.А.², Куклев С.Б.³, Телегин В.А.⁴

¹ИО РАН, г. Москва, Россия

²МГУ, г. Москва, Россия

³ЮО ИО РАН, г. Геленджик, Россия

⁴ИЗМИ РАН, г. Троицк, Россия

ivonin@ocean.ru

Ключевые слова: круглогодичный мониторинг волнения, радиолокационные измерения волнения, SWAN, Черное море.

Представлены результаты создания комплексной системы круглогодичного мониторинга ветрового волнения в прибрежной российской зоне Черного моря. Данная система развивается в контексте задач оценки и прогноза природных рисков в прибрежной зоне Черного моря. В текущую реализацию системы входит численная модель ветрового волнения SWAN с входными данными о ветре реанализа NCEP CFSR, пост радиолокационных наблюдений волнения с помощью радара X-диапазона в Геленджике, 3 поста прямых наблюдений волнения (лазерный уровнемер, ультразвуковой волнограф, донная станция ADCP) и волновой буй Datawell. Произведена кросс-верификация элементов системы по точности в районе Новороссийск-Геленджик. При сопоставлении результатов моделирования с данными наблюдений коэффициенты корреляции составляют

0,6 – 0,9, стандартное отклонение по значимой высоте волн 0,2 – 0,4 м.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФ №14-50-00095.

РАЗВИТИЕ НАЦИОНАЛЬНОЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СЕТИ ОПЕРАТИВНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ, ВКЛЮЧАЯ АРКТИКУ

**Мотыжев С.В., Лунев Е.Г., Толстошеев А.П., Быков Е.М.,
Безгин А.А., Лисецкий И.В., Юркевич Н.Ю.**

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
marlin@marlin-yug.com*

Ключевые слова: численное моделирование, оперативный инструментальный контроль, валидация и калибровка, глобальная наблюдательная сеть, национальный сегмент сети.

Достоверность прогноза изменчивости морской среды на основе численного моделирования в немалой степени зависит от валидации и калибровки моделей на основе оперативных инструментальных измерений. Для этого мировым сообществом создана глобальная буйковая наблюдательная сеть. В ее развитие большой вклад сделан ФГБУН МГИ и ООО «Марлин-Юг». Разработаны десятки вариантов буюв, которые прошли испытания в международных центрах и допущены для использования в глобальной сети. Для ее поддержки изготовлены и поставлены сотни буюв. Мировой уровень разработок подтверждается победами в международных буйковых соревнованиях, установлением рекордных показателей по продолжительности надежной работы в сложных условиях работы в Южном океане. Проведены многолетние работы в Черном море. Созданы уникальные приборы для Арктики. Установлен комплексный буйковый мониторинг этого региона. Результаты исследований сформированы в банки океанографических данных для отсроченного анализа и улучшения прогноза на основе численного моделирования.

Текущие исследования направлены на создание новых типов измерительных приборов, расширение номенклатуры контролируемых параметров, увеличение надежности измерений и оперативности их доставки пользователям. Большое внимание уделяется развитию национального наблюдательного сегмента в рамках глобальной сети, способного при необходимости обеспечить независимое функционирование для решения стоящих научных и прикладных задач.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ДРИФТЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ИССЛЕДОВАНИЯХ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА МИРОВОГО ОКЕАНА

**Толстошеев А.П., Лунев Е.Г., Мотыжев С.В., Быков Е.М.,
Безгин А.А.**

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
marlin@marlin-yug.com*

Ключевые слова: термопрофилирующий дрейфтер, полярный регион, система наблюдений, спутниковая связь.

Рассматриваются результаты разработки и внедрения в практику исследований Арктического региона Мирового океана автономного термопрофилирующего дрейфтера ВТС60/GPS/ice. Дрейфтер обеспечивает измерения с дискретностью 1 ч профиля температуры в верхнем, в том числе подледном, слое океана до глубины 60 м, атмосферного давления, траектории дрейфа. Данные мониторинга оперативно поступают пользователю по системе спутниковой связи Iridium. В рамках международного эксперимента в различных регионах Северного Ледовитого океана в 2012 – 2015 гг. развернуто более 30 дрейфтеров. Среднее время автономной работы составило более 200 сут. В результате эксперимента получены уникальные по продолжительности ряды систематических данных наблюдений, анализ которых позволяет сделать вывод о возможности и целесообразности созда-

ния надежной и экономной системы наблюдений полярных регионов океана с помощью термопрофилирующих дрейфтеров.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДРИФТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ

Лунев Е.Г., Мотыжев С.В., Толстошеев А.П., Быков Е.М., Литвиненко С.Р., Юркевич Н.Ю., Воликов М.С.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
marlin@marlin-yug.com*

Ключевые слова: мониторинг, дрейфующий буй, дрейфтер, спутниковая связь.

Представлен обзор результатов работ, выполненных в ФГБУН МГИ по развитию, внедрению и повышению эффективности измерительно-информационных систем на основе дрейфтерной технологии. Основным измерительным инструментом этой технологии являются автономные дрейфующие буи (дрейфтеры) со спутниковой связью и навигацией, оснащенные датчиками для контроля параметров приземной атмосферы, поверхности океана и водной толщи. К настоящему времени функционирующая в оперативном режиме информационно-измерительная система на основе дрейфтеров стала неотъемлемым компонентом современной глобальной системы наблюдений Мирового океана.

Представлены основные научные и практически значимые результаты, достигнутые в создании методов контроля параметров среды, частных технических решений для измерения, сбора, обработки и передачи данных пользователям, а также комплексных решений, позволяющих создавать морские автономные измерительные системы, обеспечивающие высокую надежность многолетних оперативных измерений в широком диапазоне природно-климатических условий независимо от района применения. Показаны возможности и перспективы расширения номенклатуры контролируемых параметров с одновременным

увеличением объемов передаваемых данных. Достоверность полученных результатов была подтверждена реальной эксплуатацией около тысячи дрейфтеров в различных районах Мирового океана, в том числе в Арктическом регионе.

БАЗЫ ДАННЫХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДРИФТЕРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В ЧЕРНОМ МОРЕ И АРКТИКЕ

Баянкина Т.М., Толстошеев А.П.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
bayankina_t@mail.ru*

Ключевые слова: дрейфтер, база данных, Черное море, Арктика.

Изменчивость климата и связанная с ней проблема достоверного прогнозирования погоды определяют задачу систематического контроля процессов в верхнем слое океана и приводной атмосфере. Неотъемлемым компонентом современной системы оперативных наблюдений океана являются дрейфтерные технологии. Дрейфтеры, разработанные в ФГБУН «Морской гидрофизический институт РАН» и изготовленные в ООО «Марлин-Юг» (обе организации расположены в г. Севастополь), вошли в число наиболее эффективных средств исследования верхнего слоя океана и пограничной с ним атмосферы.

Дрейфтерные эксперименты в Черноморском и Арктическом регионах, проводимые Морским гидрофизическим институтом, являются одними из основных источников контактной оперативной систематической информации о состоянии верхнего слоя открытого моря и приводной атмосферы. По результатам этих экспериментов созданы две базы данных.

В базу дрейфтерных данных по Черному морю включены измерения за 2001 – 2014 гг., полученные по 68 лагранжевым барометрическим дрейфтерам различных модификаций. В базе дрейфтерных данных по Арктике представлены измерения за период 2012 – 2015 гг. по 22 термопрофилирующим дрейфтерам различных типов. Продолжительность работы дрейфтеров в

Черном море составила от 30 до 180 суток, в Арктике – от 34 и более 1000 суток.

В базах дрейфтерных данных содержатся массивы данных дрейфтерных экспериментов о траекториях дрейфов, температуре поверхности моря, вертикальных профилях температуры верхнего (в том числе подледного) слоя воды до глубины 80 м, атмосферного давления. Обе базы данных систематизированы в каталоги по соответствующим типам дрейфтеров, внутри которых размещены сгруппированные по годам экспериментов подкаталоги с текстовыми файлами в кодировке ASCII.

АРГО-МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО ОКЕАНА КАК СИНТЕЗ НАБЛЮДЕНИЙ И ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Лебедев К.В.

*ИО РАН, г. Москва, Россия
KLebedev@ocean.ru*

Ключевые слова: моделирование, циркуляция, течения, климат, Argo.

Целью проекта Argo является создание и поддержание постоянно действующей глобальной сети океанографических станций на основе дрейфующих буев-измерителей. Работа измерителей происходит по следующей схеме. Буй дрейфует около 10 суток на заданной глубине, затем опускается на горизонт 2000 м и всплывает на поверхность, измеряя температуру и соленость. Данные передаются на спутник, который определяет точное местоположение прибора. Энергии батарей хватает на 3 – 4 года работы.

С 2005 г. измерения с помощью поплавков Argo стали вести на большей части акватории Мирового океана. По состоянию на сегодняшний день около 4000 измерителей Argo (в среднем 1 поплавок на трехградусный «квадрат») осуществляют автономное зондирование верхней двухкилометровой толщи океана от Антарктики до Шпицбергена с 10 дневным интервалом.

В 2014 г. в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН была разработана Арго-модель исследования глобального океана (АМИГО), состоящая из блока вариационной интерполяции на регулярную сетку данных профилирования дрейфующих измерителей Арго и блока модельной гидродинамической адаптации вариационно проинтерполированных полей. Такая методика позволяет получать по нерегулярно расположенным данным измерений Арго полный набор океанографических характеристик: температуру, соленость, плотность и скорость течений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №14-50-00095.

**ТОНКАЯ СТРУКТУРА ТЕЧЕНИЙ В ПРИБРЕЖНЫХ
ВОДАХ ГЕРАКЛЕЙСКОГО ПОЛУОСТРОВА ПО
ДАНЫМ ADCP-ИЗМЕРЕНИЙ 2015 – 2016 ГГ.
(ПРОЕКТ «ДИАГНОСТИКА»)**

**Морозов А.Н., Шутов С.А., Зима В.В., Дерюшкин Д.В.,
Лемешко Е.М., Федоров С.В., Маньковская Е.В.**

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
anmorozov@yahoo.com*

Ключевые слова: тонкая структура течений, прибрежные воды, ADCP.

В докладе представлены данные о скорости течений, полученные по проекту «Диагностика» в прибрежных водах Гераклейского полуострова и на траверзе пгт. Симеиз, в 2015 – 2016 гг. В экспедициях в качестве профилометров течений использовались ADCP серии WHM производства RDI. Приборы использовались в режиме выдержки у поверхности моря с борта судна, находящегося в дрейфе. Для профилирования гидрологических параметров водной среды использовался автономный зонд ГАП-16.

Обсуждаются характерные черты пространственной структуры течений и ее временной изменчивости в акваториях проведения измерений. Затрагиваются вопросы оценки параметров вер-

тикального перемешивания по данным ADCP/CTD-измерений. Приводятся значения чисел Ричардсона, полученные на основе мелкомасштабных измерений. Обсуждаются данные о силе обратного рассеяния звука и ее согласованности с картиной течений в прибрежной зоне моря.

Все аспекты доклада проиллюстрированы данными натурных наблюдений.

МОДЕЛЬ УДЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ РАССЕЯНИЯ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ В КА-ДИАПАЗОНЕ

**Юровский Ю.Ю.¹, Кудрявцев В.Н.¹, Гродский С.А.²,
Шапрон Б.³**

¹ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия

²Университет Мэрилэнда, Колледж Парк, США

*³IFREMER, Брест, Франция
yuyurovsky@gmail.com*

Ключевые слова: обратное рассеяние, радиолокация, ветровые волны.

Использование Ка-диапазона радиоволн при радиолокационном зондировании морской поверхности позволяет существенно улучшить пространственное разрешение данных и повысить точность определения доплеровских сдвигов. Однако, доступные на сегодняшний день эмпирические данные об интенсивности рассеяния в Ка-диапазоне крайне скудны и часто противоречат друг другу. В данной работе представлена эмпирическая модель удельной эффективной площади рассеяния (УЭПР) Ка-диапазона, построенная по результатам радиолокационных наблюдений с Черноморской океанографической платформы, выполненных в 2009 – 2015 гг.

Экспериментальные данные аппроксимированы полиномиальной функцией угла падения, азимута и скорости ветра с учетом поправок на измеренную диаграмму направленности ис-

пользуемого радиолокатора. Полученная модель близка к опубликованным данным Ka- и Ku-диапазонов.

Полученная УЭПР представлена в виде суммы поляризованной и неполяризованной компонент. Показано, что неполяризованная составляющая преобладает при углах падения менее 30° благодаря зеркальным отражениям. С ростом угла падения ее вклад уменьшается, но на ГГ-поляризации после 40 – 45° начинает снова расти и достигает значений 0,7 – 0,8 при 65° и скорости ветра 10 м/с, что объясняется рассеянием на обрушениях ветровых волн.

Оценка уровня спектра береговых волн при волновых числах более 1000 рад/м в 2 – 3 раза выше по сравнению с соответствующими оптическими измерениями не обрушивающейся морской поверхности. Полученное несоответствие объясняется влиянием обрушений ветровых волн.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда в рамках проекта 15-17-20020.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДВИЖЕНИЯ ДОННЫХ НАНОСОВ В ПРИБРЕЖНОЙ ОБЛАСТИ МОРЯ

Дыкман В.З., Воликов М.С.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
zaharovich_41@mail.ru*

Ключевые слова: донные наносы, измерительный комплекс, моделирование физических явлений.

В настоящее время в связи с активизацией добычи нефти и газа из месторождений, расположенных в береговых зонах морей, необходимость изучения проблемы местных размывов дна, в частности у морских платформ, встала особенно остро. В процессе эксплуатации платформы в условиях мелководья ее грунтовое основание подвергается интенсивному воздействию морского волнения, течений, а также струй, возникающих от работы движителей подходящих и швартующихся судов. Для создания

моделей, адекватно отражающих эти явления, недостаточно только теоретических исследований, нужен значительный объём натуральных исследований.

Закономерности переноса донного материала на мелководье под действием волн также недостаточно полно изучены, поэтому до настоящего времени для них не найдено строгого математического описания. Применение различных моделей и их верификация также должны опираться на натурный эксперимент.

В МГИ создан измерительный комплекс «Донная станция», снабжённый разнообразными измерительными средствами, позволяющими оценить динамические характеристики исследуемой среды и параметры взвешенного вещества донных наносов.

Результаты многочисленных прямых инструментальных наблюдений, выполненных с применением измерительного комплекса «Донная станция», позволили установить статистически значимые связи между параметрами придонного слоя моря и дистанционно определяемыми характеристиками его поверхности и приводного слоя атмосферы. Это создаёт возможность путём моделирования вычислять потоки взвешенных и влекомых донных наносов.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПУЗЫРЬКОВ И ОСОБЕННОСТИ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ МОРСКОЙ ВОДЫ

Буланов В.А.

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

Ключевые слова: пузырьки, сжимаемость, поглощение и дисперсия скорости звука, акустическая нелинейность, кавитационная прочность.

Морская вода в обычном состоянии всегда содержит различные микронеоднородности, особое положение среди которых имеют газовые пузырьки. Пузырьки всегда присутствуют в при-

поверхностных слоях моря и особенно велика их роль при больших скоростях ветра и при сильном ветровом волнении. В работе обсуждены особенности акустических характеристик морской воды, насыщенной пузырьками. Рассмотрена гомогенная модель эффективных параметров микронеоднородной жидкости, которая учитывает резонансные и релаксационные отклики пузырьков на воздействие внешнего акустического давления и позволяет описать акустические характеристики морской воды с пузырьками различной концентрации. Показано, что сжимаемость, поглощение и дисперсия скорости звука, акустическая нелинейность и кавитационная прочность воды, содержащей пузырьки в достаточно больших концентрациях, проявляют аномальные характеристики, резко отличающие их от таковых, наблюдающихся в чистой морской воде. Экспериментально установлено, что в приповерхностном слое до глубины 7 – 10 м наблюдается повышение акустической нелинейности и одновременное понижение кавитационной прочности морской воды, которые обусловлены наличием газовых пузырьков, всегда присутствующих в приповерхностном слое моря. Показано, что при усилении ветра приповерхностный слой моря может содержать аномально высокие концентрации пузырьков, которые приводят к повышенному рассеянию и поглощению звука, к усилению нелинейных характеристик этого слоя, т.е. к резкому увеличению акустической нелинейности и одновременно к резкому падению кавитационной прочности морской воды.

АНАЛИЗ РЯДОВ ПАРАМЕТРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ГАЗООБМЕН КИСЛОРОДОМ

Свищев С.В.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
sergvischev09@rambler.ru*

Ключевые слова: газообмен, кислород, Черное море.

Описание одномерных временных рядов океанологических данных является важным этапом, предшествующим этапу рас-

чета комплексных величин, обусловленных совокупным влиянием ряда параметров (например, величины потока газообмена между поверхностным слоем вод и атмосферой).

Рассмотрены основные параметры, влияющие на газообмен кислородом между поверхностным слоем вод и атмосферой: концентрация растворенного кислорода и температура воды в верхнем двухметровом слое, скорость ветра на высоте 10 м над границей раздела фаз. Для этого использовались полуклиматические ряды гидролого-гидрохимических натуральных данных и данных метеорологического ре-анализа.

Пространственное распределение данных: 31 квадрат с шагом 1,25 градуса по широте и долготе. Временное распределение данных: рассмотрены среднемесячные величины за период с 1979 по 2008 гг. Т.е. временные ряды для рассматриваемых параметров в каждом из пространственных квадратов содержали по 360 значений.

Данные по температуре и концентрации кислорода в поверхностном слое вод: за основу взят массив данных, прошедших проверку качества (Свищев, 2011) оптимизированный и дополненный. Количество измерений для поверхностного слоя составило свыше 8,5 тыс. Однако распределены они неравномерно как по времени, так и по пространству. Данные по скорости ветра: за основу взят ре-анализ Японского метеорологического агентства (JRA).

Проведена оценка детерминированной и стохастической компонент рассматриваемых временных рядов, а также фильтрация случайной компоненты. Под детерминированной компонентой понимается межгодовой тренд рассматриваемых параметров за 30-летний период. Под стохастической компонентой – сезонные колебания рассматриваемых параметров в течение года.

КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ В АРКТИКЕ: РЕЗУЛЬТАТЫ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И СОПОСТАВЛЕНИЕ С ПРИЛИВНЫМИ МОДЕЛЯМИ

Козлов И.Е.^{1,2}, Зубкова Е.В.¹, Кудрявцев В.Н.^{1,2}

¹*РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия*

²*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия*

igor.eko@gmail.com

Ключевые слова: короткопериодные внутренние волны, арктические моря, спутниковая радиолокация, модель приливов, контактные измерения.

Приводятся основные результаты анализа характеристик нелинейных внутренних волн на акватории морей евразийского сектора Арктики, полученные на основе обработки массива спутниковых радиолокационных изображений. Определены основные районы генерации и распространения короткопериодных внутренних волн, их пространственные и кинематические характеристики. Выделены районы наблюдения крупномасштабных внутренних волн значительных амплитуд. Основные районы наблюдения внутренних волн зарегистрированы над свалами глубин (100 – 200 м), на бровке шельфа и над континентальным склоном. Согласно наблюдениям, последовательные пакеты внутренних волн могут распространяться на расстояния 200 – 500 км от предполагаемых мест генерации.

Сопоставление спутниковых наблюдений с результатами приливных моделей показало, что основные районы наблюдения короткопериодных внутренних волн совпадают с районами максимальных полусуточных бароклинных приливных течений M_2 . Представляется, что выделенные районы устойчивой генерации внутренних волн являются районами интенсификации вертикального перемешивания, а наблюдаемые в этих районах пакеты нелинейных внутренних волн могут представлять собой интенсивные внутренние волны значительных амплитуд.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной под-

держки молодых российских ученых МК-5562.2016.5, а также гранта РФФИ №16-35-60072 мол_а_дк.

МОНИТОРИНГ ВАРИАЦИЙ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСКОЙ СРЕДЫ В ЗОНАХ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПО МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫМ КОСМИЧЕСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Бондур В.Г., Воробьев В.Е., Замшин В.В.

*НИИ «АЭРОКОСМОС», г. Москва, Россия
vgbondur@aerocosmos.info*

Ключевые слова: дистанционное зондирование, космические изображения, антропогенные воздействия, спектральные индексы.

Приводятся результаты мониторинга вариаций оптических характеристик верхнего слоя моря в прибрежных акваториях, подвергающихся интенсивным антропогенным воздействиям, обусловленным заглубленными стоками, с использованием подхода, основанного на анализе характеристик относительной изменчивости сигналов обратного рассеяния в различных участках спектра электромагнитных волн, рассчитанных по космическим изображениям. Для выявления аномалий, связанных с антропогенными воздействиями, использовались спектральные индексы, рассчитываемые на основе значений спектральных энергетических яркостей, зарегистрированных в различных каналах многоспектральной космической аппаратуры. Установлено, что в зонах аномалий, связанных с глубинными стоками, значение, например, индекса цвета (отношение яркости восходящего излучения на длинах волн 450 и 520 нм) на 15 – 25% ниже, чем на фоновых участках.

Проведено сопоставление двумерных полей распределения спектральных индексов, полученных по космическим изображениям, с результатами подспутниковых гидрофизических из-

мерений. Выявлено хорошее соответствие пространственно-геометрических параметров полей распределения аномальных гидрофизических характеристик и спектральных индексов, определенных по спутниковым данным, а также приуроченность этих аномалий к расположению источников загрязнений (сбросовых устройств).

Исследования проведены при поддержке Минобрнауки России (идентификатор проекта RFMEFI57714X0110).

МОНИТОРИНГ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПРИБРЕЖНЫЕ АКВАТОРИИ ПО КОСМИЧЕСКИМ РАДИОЛОКАЦИОННЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Бондур В.Г., Замшин В.В.

*НИИ «АЭРОКОСМОС», г. Москва, Россия
vgbondur@aerocosmos.info*

Ключевые слова: дистанционное зондирование, космический мониторинг, радиолокационные изображения, морская поверхность, антропогенные воздействия, удельная эффективная поверхность рассеяния.

Разработаны методы дистанционного мониторинга антропогенных воздействий на экосистемы прибрежных акваторий с использованием космических радиолокационных изображений, основанные на регистрации изменений спектров морского волнения, фиксируемых радиолокатором как изменения уровней принимаемых радиосигналов.

Приведены примеры результатов обработки космических радиолокационных изображений морской поверхности, полученных на различных поляризациях в X и C-диапазонах длин волн с пространственным разрешением от 1 до 100 м, в том числе в районах интенсивных антропогенных воздействий на прибрежные акватории Черноморского побережья России. Установлены величины контрастов удельной эффективной поверхности рассеяния в областях аномалий пространственной структуры по-

верхностного волнения, вызванных поверхностными проявлениями антропогенных воздействий различных типов, в том числе всплытием струй глубинных стоков и сбросами с судов. Установлено, что типичные значения контрастов радиосигналов в зонах этих аномалий по сравнению с фоном составили 2,5 – 4 дБ. Продемонстрирована высокая эффективность применения космических радиолокационных методов для мониторинга антропогенных воздействий на прибрежные акватории.

Исследования проведены при поддержке Минобрнауки России (уникальный идентификатор проекта RFMEFI57714X0110).

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ 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

¹НИИ «АЭРОКОСМОС», г. Москва, Россия

²ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия

amurynin@bk.ru

Ключевые слова: дистанционное зондирование, космические изображения, морская поверхность, спектры волнения.

Разработан метод дистанционного измерения спектров морского волнения по космическим оптическим изображениям, основанный на использовании восстанавливающих операторов как в области высоких, так и низких пространственных частот. Предложен подход для настройки и валидации разработанного метода с использованием данных, полученных при подспутниковых измерениях, выполняемых струнными волнографами. Проведено исследование спектров морского волнения в широком диапазоне длин волн с использованием спектров спутниковых оптических изображений высокого пространственного разрешения (0,5 – 1,0 м) и данных измерений, выполняемых с океанографической платформы с помощью струнных волнографов,

стереосистемы, а также с помощью плавающих волновых буев. Проведено сопоставление спектров волнения, восстановленных по космическим изображениям и одновременно полученных с помощью подспутниковых средств. Анализ результатов сопоставления показал, что коэффициенты корреляции оценок, выполняемых различными методами, составляют в среднем 0,8 – 0,9, что свидетельствует об адекватности предложенных методов. Установлены показатели степенных аппроксимаций пространственных спектров в диапазоне длин волн 0,04...5,0 м. Показано, что спектры волнения, полученные экспериментально спутниковыми и контактными методами, наилучшим образом аппроксимируются спектром Тоба. Приведены результаты применения предложенного метода для исследования спектров морского волнения в различных акваториях и при различных условиях волнообразования.

Исследования проведены при поддержке Минобрнауки России (уникальный идентификатор проекта RFMEFI57714X0110).

ПРИБРЕЖНАЯ ЗОНА СЕВАСТОПОЛЯ НА СПУТНИКОВЫХ СНИМКАХ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Юровская М.В., Дулов В.А., Козлов И.Е.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
mvkosnik@gmail.com*

Ключевые слова: Landsat-8, Sentinel-1, прибрежная зона, мезомасштабные структуры, загрязнения прибрежных вод, сточные воды.

Данные со спутников Landsat с разрешением 30 – 100 м, предоставляют возможность регулярно наблюдать океанические явления с масштабами 100 – 1000 м. Спутник Sentinel-1 оборудован радаром с синтезированием апертуры (SAR), работающем на длине электромагнитной волны 5,6 см. Цель данного исследования – охарактеризовать информативность спутниковых

данных высокого разрешения для исследования и мониторинга прибрежных зон Крыма.

Особенности поля шероховатости морской поверхности обнаруживаются как в оптических каналах Landsat, так и в радиолокационных данных Sentinel-1. К уверенно наблюдаемым структурам можно отнести пакеты внутренних волн, нитевидные естественные слики, которые отражают прибрежную динамику в виде вихрей и фронтов, следы движущихся кораблей, области пленочных антропогенных загрязнений. Температурные фронты в штилевых условиях проявляются благодаря скопленю ПАВ в зоне конвергенции и образованию слика, вытянутого вдоль фронта.

Подповерхностные процессы, наблюдаемые в оптических каналах Landsat-8, включают, прежде всего, перенос и распространение взвешенного вещества вследствие паводков и размыва песчаных пляжей. При этом на морской поверхности в загрязненных областях концентрируются ПАВ, благодаря чему эти области могут наблюдаться также и в радиолокационных изображениях Sentinel-1. Выполнен поиск проявлений сброса сточных вод г. Севастополь.

Работа формирует основу для дальнейших разработок подходов к получению количественных характеристик самих явлений.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП (RFMEFI57714X0110) и РФФИ (научный проект №15-35-50726).

ОБ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ДОСТИЖЕНИЯХ В ТЕОРИИ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИИ ИЗЛУЧЕНИЯ СИСТЕМЫ «АТМОСФЕРА – ОКЕАН»

Сушкевич Т.А., Стрелков С.А., Максакова С.В.

*ИПМ РАН, г. Москва, Россия
tamaras@keldysh.ru*

Ключевые слова: достижения, перенос излучения, моделирование, двухсредная система, атмосфера, океан.

Настоящий доклад посвящается 55-летию первого полета человека в космос – гражданина Советского Союза Юрия Алексеевича Гагарина (09.03.1934 – 27.03.1968). Это и посвящение Главному Теоретику Космонавтики академику Мстиславу Всеволодовичу Келдышу в год его 105-летия (02.10.1911 – 24.06.1978), а также признание заслуг и дань памяти крупнейших ученых Академии наук СССР (90-лет с основания АН СССР в 1925 г.), которые стояли у истоков создания великого научного наследия теории переноса излучения в природных и искусственных средах и её приложений в космических проектах, а также в астрофизике, климатологии, метеорологии, дистанционном зондировании Земли, глобальном мониторинге опасных объектов и последствий природных и техногенных катастроф и т.д.: Г.И. Марчука, В.С. Владимирова, В.В. Соболева, К.Я. Кондратьева, Е.С. Кузнецова, В.Е. Зуева, В.Г. Розенберга, Е.М. Фейгельсона, Н.А. Арманда и др.

Речь идет о развитии и приложениях теории переноса излучения в природных средах для теоретико-расчетных исследований радиационных полей в регионе Арктики в интересах гиперспектрального подхода дистанционного зондирования атмосферы и земной поверхности в диапазоне от ультрафиолетового до миллиметрового спектра длин волн.

Исследование поддержано Российским фондом фундаментальных исследований (проекты №15-01-00783, №14-01-00197).

БИООПТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВОД ЧЁРНОГО МОРЯ КАК ОСНОВА РЕГИОНАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ ПРОДУКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОД ПО СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Чурилова Т.Я.¹, Суслин В.В.², Кривенко О.В.¹,
Ефимова Т.В.¹, Моисеева Н.А.¹

¹ФГБУН ИМБИ, г. Севастополь, Россия

²ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия

tanya.churilova@gmail.com

Ключевые слова: биооптические показатели, модели, спутниковые данные, Черное море.

Возможность использования спутниковой информации для оценки первично продукционных характеристик морских акваторий ограничена точностью используемых алгоритмов. Региональные алгоритмы, учитывающие специфику биооптических характеристик вод конкретной акватории, позволяют корректно трансформировать сигнал спутника в показатели продуктивности вод. Для Чёрного моря к настоящему времени собран уникальный массив биооптических данных, на основе которого проведена параметризация поглощения света всеми оптически активными компонентами в море, выявлены сезонные особенности, а также отличия между глубоководным и прибрежным районами Чёрного моря. Полученные результаты являются необходимой базой для развития региональных алгоритмов. На сегодняшний день для Черного моря уже разработаны модели оценки концентрации хлорофилла a в поверхностном слое моря, спектральные модели подводной облученности, первичной продукции и оценки потоков неорганических форм азота через планктонное сообщество в зоне фотосинтеза. В работе рассматриваются основные результаты биооптических исследований, их ассимиляция в моделях и перспективы их использования для создания системы оперативного контроля и прогнозирования состояния экосистемы Черного моря.

АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ ЗА ЭКСПЕДИЦИОННЫЙ ПЕРИОД С 24 МАЯ ПО 5 ИЮНЯ 2016 ГОДА

Калинская Д.В.¹, Сакерин С.М.², Кабанов Д.М.²

¹ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия

²ИОА СО РАН, г. Томск, Россия

dashustik_m@mail.ru

Ключевые слова: SPM, атмосферный аэрозоль, аэрозольная оптическая толщина (АОТ), параметр Ангстрема.

С 24 мая по 5 июня 2016 г. на территории океанографической платформы, расположенной в пос. Кацивели, проводились наблюдения за спектральной прозрачностью атмосферы над акваторией, а также с помощью фотометра SPM произведены измерения яркости небосвода, что позволило определить фоновые оптические характеристики для исследуемого периода.

Портативный солнечный фотометр SPM предназначен для измерений спектральной прозрачности атмосферы в экспедиционных и мобильных условиях. По сравнению с портативным фотометром Microtops II (<http://www.solar.com/sunphoto.htm>), SPM имеет преимущество по диапазону спектра и числу измерительных каналов (12 фильтров вместо 5).

Натурные наблюдения за прозрачностью атмосферы выявили 28 мая 2016 г. незначительное помутнение атмосферы в середине дня ближе к полудню, а 31 мая с 11 часов наблюдалось присутствие коричнево-красной дымки над горизонтом, которая распространялась пульсациями и постепенно окрасила в этот оттенок всю видимую часть небосвода. Анализ изменчивости значений АОТ(500) показал завышенные относительно фоновых ($\text{АОТ}(500) = 0,22$) значения за 28 и 31 мая 2016 г. Максимальные значения: за 27 мая 2016 г. $\text{АОТ}(501) = 0,67$; за 31 мая 2016 г. $\text{АОТ}(501) = 0,84$. Для этих дат были построены графики спектрального распределения АОТ на 7 длинах волн. Основываясь на значениях измерений АОТ, данных обратных траекторий перемещения воздушных масс и на данных визуального наблю-

дения можно предположить, что данный аэрозоль является аэрозолем аридного происхождения.

**О ПЕРСПЕКТИВАХ ДИСТАНЦИОННОЙ ОЦЕНКИ
ГИДРОБИООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОД
ВНУТРЕННИХ ПРЕСНЫХ ВОДОЕМОВ ПО
РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИЙ НА ГОРЬКОВСКОМ
ВОДОХРАНИЛИЩЕ
В 2016 Г.**

**Мольков А.А.¹, Калининская Д.В.², Капустин И.А.¹,
Корчемкина Е.Н.², Пелевин В.В.³, Коновалов Б.В.³,
Беляев Н.А.³, Соловьев Д.М.²**

¹ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия

²ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия

³ИО РАН, г. Москва, Россия

a.molkov@inbox.ru

Ключевые слова: дистанционные измерения, яркость моря, пресноводный водоем, спутниковые изображения, флуоресцентный лидар УФЛ-9, ПГХ воды, оптические характеристики атмосферы, эвтрофикация.

Приводятся результаты комплексного исследования биопродуктивности, гидрооптических характеристик толщи воды, флуоресценции поверхностного слоя и гидрологических параметров Горьковского водохранилища, как яркого примера внутреннего пресноводного водоема, характеризуемого сильной эвтрофикацией, а также состояния атмосферы над ним. Для получения натуральных данных был задействован уникальный комплекс оборудования, состоящий из флуоресцентного ультрафиолетового лидара, спектрофотометра, солнечного фотометра, акустического доплеровского профилографа скоростей течений, СТД-зонда и целого набора прочих сопутствующих вспомогательных устройств, размещенных на борту плавучей гидрофизической лаборатории «Геофизик».

В докладе представлены особенности адаптации стандартных алгоритмов обработки спутниковых данных для открытых акваторий применительно к пресноводным водохранилищам, подверженным эвтрофикации и сильным речным стокам. Приведены результаты атмосферной коррекции этих данных. Учтено влияние рельефа дна, скоростей течений и температурного режима водоема. На основании полученных результатов рассмотрены возможные перспективы применения экспрессной дистанционной оценки гидробиооптических характеристик вод внутренних водоемов, как индикаторов их экологического состояния.

ОПЕРАТИВНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ВЗВЕСИ И РАСТВОРЕННОГО ВЕЩЕСТВА В МОРСКОЙ ВОДЕ ПО СПЕКТРАЛЬНОМУ ПОКАЗАТЕЛЮ ОСЛАБЛЕНИЯ НАПРАВЛЕННОГО СВЕТА

Корчемкина Е.Н., Латушкин А.А., Мартынов О.В.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
ekorchemkina@gmail.com*

Ключевые слова: показатель ослабления направленного света, растворенная органика, взвесь, полуаналитический алгоритм.

В ФГБУН МГИ широко применяются методы и аппаратура для измерений показателя ослабления света (ПОС), которые позволяют получить оперативную детальную информацию о вертикальной биооптической структуре природных вод, а также дают возможность отбирать пробы на оптимальном числе горизонтов.

Для решения задач оперативного мониторинга в отделе оптики и биофизики моря ФГБУН МГИ был разработан и изготовлен малогабаритный спектральный измеритель показателя ослабления света. Благодаря оперативности получения данных, можно в кратчайшие сроки определять состав и биопродуктивность вод, а также идентифицировать источники поступления

загрязняющих веществ и пути их распространения в прибрежных акваториях.

В данной работе предлагается способ расчета концентраций взвеси и растворенной органики в воде по измерениям ПОС в девяти спектральных участках (370; 400; 447,5; 470; 505; 530; 590; 617 и 660 нм). Представленный метод позволяет оперативно оценивать концентрацию или рассеяние минеральной взвесью по данным ПОС. Дополнительно он предоставляет возможность получения значений поглощения неживой органикой, что имеет большое значение для вод типа II, к которым относится Черное море. В дальнейшем планируется оптимизировать алгоритм путем использования ограниченного числа спектральных каналов для работы с четырехканальным аналогом измерителя ПОС.

МЕЛКОМАСШТАБНАЯ ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПЛАНКТОННЫХ ПОЛЕЙ: НАБЛЮДЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Васечкина Е.Ф.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
vasechkina.elena@gmail.com*

Ключевые слова: видео-регистратор планктона, вейвлет-спектры, объектно-ориентированное моделирование.

Исследование мелкомасштабной пространственной изменчивости морского планктона выполнялось с использованием имитационных полей фито- и зоопланктона в сопоставлении с имеющимися данными, полученными с помощью буксируемого видео-регистратора планктона. Натурные данные обрабатывались таким образом, чтобы разделить вертикальную и горизонтальную изменчивость, результирующие ряды имели дискретность по пространству 100 м. Строились пространственные спектры и вейвлет-спектры, а также взаимные корреляционные функции между вейвлет-компонентами пространственной изменчивости.

Аналогичным образом анализировались имитационные планктонные поля, полученные с помощью многоэлементной объектно-ориентированной модели планктонного сообщества. Для моделирования живых элементов экосистемы использовался индивидуум-ориентированный подход.

В результате движения планктонных объектов, их роста и размножения, взаимодействия друг с другом и с окружающей средой в изначально однородных полях биомассы фито- и зоопланктона возникает мультимасштабная пятнистость. Получены оценки характерных масштабов пространственной изменчивости, самопроизвольно формирующейся в отсутствие значимых гидрофизических воздействий.

Сделан вывод о том, что модель многоэлементного сообщества планктона дает результаты, сопоставимые с данными наблюдений и позволяет понять возможные механизмы формирования пятнистости планктонных полей. Характерные масштабы этой изменчивости, выделенные в модельных экспериментах, действительно могут регистрироваться по наблюдениям *in situ* и связаны с размерами и физиологическими параметрами планктонных животных, ее образующих.

СЕКЦИЯ 4 «ОПЕРАТИВНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ. МЕТОДЫ АССИМИЛЯЦИИ»

ОПЕРАТИВНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОГО МОРЯ

Холод А.Л., Иванчик А.М., Иванчик М.В., Ратнер Ю.Б.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
antonholod@mail.ru*

Ключевые слова: автоматическая система, моделирование, мониторинг, буи ARGO, спутниковые измерения, *in situ* данные, диагноз, прогноз, валидация, визуализация.

Современные геоинформационные технологии позволяют непрерывно контролировать и прогнозировать изменения морской среды от поверхности до дна в любой части Мирового океана. В докладе представлено описание автоматической системы морских прогнозов состояния Черного моря, функционирующей в Морском гидрофизическом институте. Рассмотрены принципы построения системы, модели морской среды, используемые потоки данных, а также инструментарий для контроля достоверности и визуализации результатов расчетов состояния моря.

На основе созданной системы осуществляется ежедневный прогноз температуры и солености морской воды, скоростей течений, уровня моря, концентрации хлорофилла и нитратов в морской воде. Результаты прогнозов ежедневно выгружаются на FTP и THREDDs серверы. Графическое отображение карт полей параметров состояния морской среды осуществляется специальной графической утилитой Godiva-2, функционирующей в составе THREDDs сервера, и на сайте Черноморского центра морских прогнозов.

Оперативный контроль достоверности результатов расчетов осуществляется с помощью автоматической системы валидации. Валидация результатов диагноза и прогноза термохалинных полей выполняется на основе сопоставления данных модельных

расчетов с *in situ* измерениями буев ARGO, спутниковыми измерениями температуры поверхности и уровня моря. Результаты валидации ежедневно отображаются на сайте Черноморского центра морских прогнозов. Валидационные расчеты за период с 2012 по 2016 гг. позволили получить представления о стабильности функционирования системы на длительных интервалах времени.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ МИРОВОГО ОКЕАНА ПО ДАННЫМ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ УСВОЕНИЯ ДАННЫХ

**Зеленько А.А., Вильфанд Р.М., Реснянский Ю.Д.,
Струков Б.С.**

*Гидрометцентр России, г. Москва, Россия
zelenko@metcom.ru*

Ключевые слова: океан, оперативные наблюдения, моделирование, усвоение данных.

Представлена новая версия системы усвоения океанографических данных (СУОД), развиваемой в Гидрометцентре России. Усвоение осуществляется в рамках последовательной циклической схемы анализ – прогноз – анализ. Основными компонентами СУОД являются процедуры подготовки получаемых в оперативном режиме данных наблюдений, вариационная схема анализа данных и модель общей циркуляции океана, по которой рассчитываются участвующие в анализе поля первого приближения. Входными для анализа данными служат результаты измерений температуры и солёности воды в верхнем 1400 м слое океана с различных наблюдательных платформ.

Система обеспечивает получение оценки текущего состояния крупномасштабной (от нескольких сотен до тысяч километров) термохалинной структуры и динамики вод Мирового океана как в оперативном, так и задержанном режимах. Комбинация этих

режимов позволяет получить длительные однородные ряды основных гидрофизических полей. Такой реанализ с началом, датируемым 2005 г. (начиная с которого устанавливаются необходимые для достоверного анализа объемы наблюдений), проводится на базе представленной СУОД в режиме пополнения текущей информацией. Предварительное рассмотрение результатов реанализа показывает его пригодность для мониторинга особенностей межгодовой и сезонной изменчивости основных гидрофизических полей Мирового океана. Это, в частности, иллюстрируется картиной развития актуальных океанических процессов в тропиках Тихого океана в связи с эпизодом явления Эль-Ниньо 2015 – 2016 гг.

ОПЫТНЫЙ ПРОГНОЗ СОСТОЯНИЯ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА С ПОМОЩЬЮ СОВМЕСТНОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ОКЕАНА И МОРСКОГО ЛЬДА

Ушаков К.В., Громов И.В., Ибраев Р.А.

Гидрометцентр России, г. Москва, Россия

ИО РАН, г. Москва, Россия

ИВМ РАН, г. Москва, Россия

ushakovkv@mail.ru

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, модели общей циркуляции, ансамблевый прогноз.

Рассматриваются опытные результаты моделирования внутри- и межгодовой изменчивости циркуляции вод и льда Северного Ледовитого океана с применением новой глобальной массивно-параллельной совместной модели, созданной на основе модели динамики океана ИВМИО и модели морского льда CICE5.1, работающих под управлением Программного комплекса совместного моделирования ПКСМ2.0.

Приводятся результаты ретроспективного расчёта по атмосферным данным CORE-II за 1948 – 2007 гг., а также пробного ансамблевого прогноза на один год, начиная с сентября 2007 г.,

при котором атмосферные условия элементов ансамбля определялись по данным за предыдущие 7 лет. Результаты сравниваются с данными спутниковых наблюдений за параметрами морского льда, а также с опубликованными результатами расчётов по ряду моделей, участвовавших в проекте CORE-II.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект №14-37-00053) в ФГБУ «Гидрометцентр России».

СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА ВОЛНЕНИЯ ЧЕРНОМОРСКОГО ЦЕНТРА МОРСКИХ ПРОГНОЗОВ

Ратнер Ю.Б., Фомин В.В., Иванчик А.М., Иванчик М.В.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
yubrat@gmail.com*

Ключевые слова: волнение, модель SWAN, автоматическая система, прогноз волнения, спутниковые альтиметрические измерения высоты волн, валидация, визуализация, сервер.

Представлена система оперативного прогноза ветрового волнения Черного моря. В системе используется модель SWAN (Simulating Waves Nearshore), основанная на численном решении уравнения баланса волновой энергии в спектральной форме. SWAN учитывает энергоснабжение волн ветром, нелинейные взаимодействия спектральных компонент и механизмы диссипации волновой энергии вследствие донного трения и обрушения волн.

В ходе разработки системы выполнена адаптация модели SWAN для учета особенностей ее функционирования в составе Черноморского центра морских прогнозов (ЧЦМП). Было улучшено представление данных по батиметрии Черного моря и осуществлено согласование входных и выходных данных модели с номенклатурой и форматами представления данных ЧЦМП.

Автоматическая система работает в круглосуточном непрерывном режиме и выполняет стандартную последовательность

действий, предусмотренных при выполнении прогнозов – от планирования вычислений до выдачи результатов расчетов высоты, направления и периода значимых волн на серверы ЧЦМП. Отображение результатов прогнозов выполняется стандартными средствами визуализации THREDDS-сервера ЧЦМП.

Предварительная валидация модели SWAN выполнялась по данным измерений ветра и волнения на морской стационарной платформе в Каркинитском заливе Черного моря. Модель достаточно адекватно воспроизводит фазы усиления и ослабления ветрового волнения в районе платформы. Коэффициент корреляции между рассчитанными и измеренными высотами волн превышает 0,8. Среднеквадратическая ошибка составляет $\sim 0,25$ м.

РЕКОНСТРУКЦИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ МИРОВОГО ОКЕАНА МЕТОДОМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ

Гранкина Т.Б.^{1,3}, Саркисян А.С.^{1,2,3,4}, Ибраев Р.А.^{1,2,3},
Ушаков К.В.^{1,2,3}

¹ИО РАН, г. Москва, Россия

²ИВМ РАН, г. Москва, Россия

³Гидрометцентр России, г. Москва, Россия

МГУ, г. Москва, Россия

grankina@gmail.com

Ключевые слова: Мировой океан, климат, глобальная циркуляция, численные методы.

Реконструкция климатической циркуляции Мирового океана остается актуальной проблемой несколько десятилетий. Постепенно усвершенствуются численные модели, компьютерная реализация, способы измерений и усвоения данных наблюдений. Но вследствие недостатка последних используемые океанологами гидрологические поля T , S и ρ остаются существенно сглаженными. Рассматривается способ гидродинамической

адаптации, синтезирующий гидрологическую информацию и математическую модель. Использовалась вихререзающая модель Мирового океана ИВМИО с разрешением $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ и 49 уровнями по вертикали. Атмосферное воздействие определялось среднемесячными условиями международного эксперимента CORE I для января, апреля, июля и октября. Начальные условия для T , S и ρ задавались по WOA 2009. Порядок расчетов был таков, что диагностический этап при постоянных значениях T и S длился 60 суток модельного времени, необходимых для установления режима циркуляции вод Мирового океана. Адаптационный период в среднем 7 суток, пока кинетическая энергия не достигнет максимального значения. Краткое модельное время интегрирования позволяет осуществить адаптацию верхних слоев исходной гидрологии и результатов расчетов к рельефу дна, восстановить скорость течений, минимизировать зависимость результатов от накопленных ошибок и погрешности численной реализации модели. Были проанализированы результаты для нескольких прибрежных районов Мирового океана.

Работа выполнена в ФГБУ «Гидрометцентр России» при финансовой поддержке гранта РНФ 14-37-00053.

РЕАНАЛИЗ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ АССИМИЛЯЦИИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Дорофеев В.Л., Сухих Л.И.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
dorofeyev_viktor@mail.ru*

Ключевые слова: реанализ, ассимиляция данных измерений, численное моделирование, динамика Черного моря.

В работе представлены результаты восстановления гидрофизических полей Черного моря за двадцатилетний период с 1993 по 2012 гг. На основе ассимиляции данных дистанционных измерений поверхностной температуры моря, возвышения сво-

бодной поверхности и среднегодовых профилей температуры и солености в гидродинамической модели получены трехмерные массивы полей на регулярной сетке с дискретностью в одни сутки.

Сравнение результатов реанализа с данными измерений температуры и солености показало, в целом, что полученные поля достаточно хорошо описывают реальную термохалинную структуру моря. Наибольшие ошибки возникают на глубинах максимального градиента параметров. Для солености – это район расположения галоклина, а для температуры – летний сезонный термоклин.

Согласно проведенным расчетам, за рассматриваемый период верхний слой Черного моря нагревался, что проявилось в повышении поверхностной температуры и в деградации холодного промежуточного слоя. Повышение температуры верхнего слоя моря сопровождалось увеличением солености.

Анализ течений в верхнем 30 м слое показал, что характер горизонтальной циркуляции определяется завихренностью поля ветра над акваторией Черного моря. Средняя завихренность напряжения трения ветра зимой существенно выше летнего значения. Этот факт, в основном, и определяет характер циркуляции в зимнее и летнее время.

Проведенное исследование показало также, что решающий вклад в формирование ячейки вертикальной циркуляции в верхнем слое Черного моря вносит ветер. Вода в глубоководной части бассейна поднимается к поверхности, переносится в экмановском слое по направлению к берегу и там опускается.

ТЕХНОЛОГИЯ УСВОЕНИЯ ДАННЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И ИЗМЕРЕНИЙ БУЕВ АРГО МЕТОДОМ EnOI В МОДЕЛИ ОКЕАНА ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Кауркин М.Н., Ибраев Р.А.

ИВМ РАН, г. Москва, Россия

ИО РАН, г. Москва, Россия

Гидрометцентр России, г. Москва, Россия

sherema@yandex.ru

Ключевые слова: моделирование Земной системы, усвоение данных, ансамблевый фильтр Калмана, ансамблевая оптимальная интерполяция.

Предлагается параллельная реализация метода обобщённой ансамблевой интерполяции (EnOI) для усвоения массовых данных наблюдений в модель Мирового океана ИВМИО высокого разрешения для прогноза состояния океана. Усвоение данных функционирует в качестве сервиса вычислительной платформы CMF 3.0 (Compact Modeling Framework).

Сравниваются результаты численных экспериментов в Северной Атлантике при усвоении данных температуры и солёности с дрейфтеров АРГО методом оптимальной интерполяцией (MVOI) и обобщённой ансамблевой интерполяции. Приведены результаты чувствительности ошибки усвоения от количества элементов ансамбля. Подтверждена и оценена количественно эффективность реализованного метода перед используемой ранее оптимальной интерполяцией. Результаты расчётов также сравниваются с независимыми данными спутниковых наблюдений за ТПО (ARMOR 3d).

Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН. I.33П «Фундаментальные проблемы математического моделирования».

МЕТОД ТРОЙНОЙ КОЛЛОКАЦИИ В ЗАДАЧАХ ВАЛИДАЦИИ ПРОДУКТОВ ОПЕРАТИВНОГО СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ И РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Михайлова Н.В., Баянкина Т.М., Мотыжев С.В.,
Крыль М.В., Толстошеев А.П., Лунев Е.Г.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
Nataly.Mikhailova@mail.ru*

Ключевые слова: спутниковый мониторинг, моделирование, валидация, дрейфтеры, Argo, температура поверхности Черного моря, метод тройной коллокации.

Для калибровки спутникового оборудования, а также валидации данных дистанционного зондирования температуры поверхности моря (ТПМ) и численного моделирования в настоящее время широко применяются методы двойной коллокации. В этих процедурах в качестве опорных используются данные наблюдений за состоянием морской среды, которые проводятся с различных платформ (дрейфтеры, буи Argo и т.д.). При этом предполагается, что все ошибки связаны с валидируемым продуктом, а измерения, относительно которых валидируют, производятся без ошибок. Показано, что результаты валидации спутниковых продуктов по температуре поверхности Черного моря методом двойной коллокации существенно различаются для дрейфтеров и буев системы Argo. Это затрудняет поиск источников ошибок и путей улучшения алгоритмов восстановления ТПМ. Аналогичные проблемы возникают и при валидации результатов численного моделирования.

Метод тройной коллокации позволяет разделить систематические погрешности и случайные ошибки данных натуральных наблюдений, дистанционного зондирования и численного моделирования. Это новый объективный метод, учитывающий пространственно-временные неоднородности сбора натуральных, дистанционных и модельных данных и статистические ошибки выборки. Приведены результаты валидации одного из лучших

продуктов оперативного спутникового мониторинга температуры поверхности Черного моря OSTIA (УКМО, Великобритания), прогностической гидродинамической модели ЭЦМП МГИ методом тройной коллокации относительно измерений дрейфтеров SVP-BTC80RTC/GPS и буев системы Argo.

СОПОСТАВЛЕНИЕ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СТАЦИОНАРНОГО ADCP С ДАННЫМИ РЕАНАЛИЗОВ И МОДЕЛИ ВОЛНЕНИЯ НА ГИДРОФИЗИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ

Пиотух В.Б., Зацепин А.Г., Мельников В.А., Мысленков С.А.

*ИО РАН, г. Москва, Россия
vbp@ocean.ru*

Ключевые слова: гидрофизический полигон, донный ADCP, обратное акустическое рассеяние, метеопараметры, модель ветрового волнения.

Рассматриваются результаты серий натуральных измерений уровня сигналов обратного акустического рассеяния и сопутствующих параметров морской среды, полученных с использованием стационарного донного ADCP, установленного в ближней шельфовой зоне на Черноморском гидрофизическом полигоне ИО РАН в г. Геленджик. Анализируется временная изменчивость уровня и вертикальных профилей сигнала обратного акустического рассеяния, отмечаются как короткопериодные, так и среднесрочные (сезонные) колебания, получены их основные характеристики. Проводится их сопоставление с основными влияющими факторами морской среды и приводной атмосферы.

В качестве основных влияющих факторов рассматриваются такие как: скорость и направление ветра, степень развития ветрового волнения, атмосферные осадки вблизи точки установки ADCP, сопутствующие им колебания речного стока и выносов взвесей, влияние прибрежных течений и их локальных особенностей, возможная роль и влияние биогенных факторов. Иссле-

дована среднесрочная изменчивость уровней обратного акустического сигнала и основных влияющих факторов – параметров волн, полученных с использованием ветро-волновой модели SWAN, скорости и направлений ветра и величин атмосферных осадков по данным реанализа NCEP/CFSR, привлечены данные береговых метеоизмерений осадков и уровня моря, а также собственные измерения скорости и направления прибрежного течения и изменчивости уровня моря в точке установки ADCP. Рассчитаны значения корреляционных связей между каждым из внешних влияющих параметров и уровнем обратного сигнала.

Выявлены неоднозначность и сложность взаимных связей между внешними формирующими параметрами и изменчивостью уровня сигнала обратного акустического рассеяния.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №14-05-00159) и РНФ (проект №14-17-00382).

ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ ВОД СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ В СРАВНЕНИИ С ДАННЫМИ ДИСТАНЦИОННЫХ И КОНТАКТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

**Григорьев А.В.¹, Зацепин А.Г.², Коротаев Г.К.³, Кубряков А.А.³,
Кубряков А.И.³, Воронцов А.А.⁴, Шаповал К.О.⁵**

¹*ГОИН, г. Москва, Россия*

²*ИО РАН, г. Москва, Россия*

³*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия*

⁴*ВНИИГМИ – МЦД, г. Обнинск, Россия*

⁵*МФТИ, г. Долгопрудный, Россия*

ag-privat@mail.ru

Ключевые слова: оперативная океанография, численное моделирование, данные дистанционных и контактных наблюдений, оценки точности.

Приводятся результаты сравнения данных численного моделирования вод северо-восточной части Черного моря, получен-

ных в рамках задач оперативной океанографии, с данными контактных и спутниковых наблюдений. Моделирование осуществлялось на основе общеконтинентальной модели МГИ с горизонтальным разрешением ~5 км и региональной модели РОМ северо-восточной области моря с горизонтальным разрешением ~1 км, совмещенных по методу «вложенных сеток». В качестве данных наблюдений использовались срочные наблюдения на морских гидрометеостанциях (ГМС) Кавказского побережья моря (Новороссийск, Геленджик, Туапсе, Сочи), данные измерений зондирующего комплекса AQUALOG (ИО РАН, район Голубой бухты, Геленджик), а также спутниковые измерения температуры поверхности моря и уровня.

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В РАЙОНЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ШЕЛЬФА И ПОБЕРЕЖЬЯ КРЫМА НА ОСНОВЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ И СОЛЕННОСТИ

Евстигнеева Н.А., Демышев С.Г.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
naevstigneeva@yandex.ru*

Ключевые слова: Черное море, прибрежная зона, численное моделирование, ассимиляция данных наблюдений, мезомасштабные и субмезомасштабные особенности циркуляции.

В прибрежной зоне Черного моря регулярно выполняются экспедиционные наблюдения, на основе которых проводится гидрологический анализ полученных данных измерений. Однако гидродинамические модели при обработке выполненных съемок не применялись, что существенно снижает ценность полученных наблюдений.

Доклад посвящен анализу результатов численного моделирования прибрежной циркуляции Черного моря на основе ассимиляции в гидродинамической модели данных измерений темпе-

ратуры и солености. Численная трехмерная нелинейная модель Черного моря, разработана в Морском гидрофизическом институте и адаптирована для прибрежной зоны. Алгоритм ассимиляции данных измерений температуры и солености основан на последовательной коррекции модельных значений этих параметров методом оптимальной интерполяции невязок.

Обработаны три полигонные съемки, проведенные в прибрежной зоне Южного берега Крыма в июле 2000 г., в районе западного побережья Крыма для сентября 2007 г. и на северо-западном шельфе в октябре 2010 г. Совместное использование модели динамики и процедуры ассимиляции позволило восстановить близкие к наблюдаемым в реальности, непрерывные по пространству и времени поля течений, температуры и солености с высоким пространственным разрешением, а также провести анализ формирования мезо- и субмезомасштабных структур в прибрежной зоне моря (динамические и кинематические характеристики, возможные механизмы формирования).

ФРАГМЕНТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ШЕЛЬФОВЫЕ ЗОНЫ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА НА ОСНОВЕ КОНТАКТНЫХ ДАННЫХ

**Бондур В.Г.¹, Иванов В.А.², Дулов В.А.², Горячкин Ю.Н.²,
Ли М.Е.², Кондратьев С.И.², Самодуров А.С.²**

¹*НИИ «АЭРОКОСМОС», г. Москва, Россия*

²*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия*

dulov1952@gmail.com

Ключевые слова: аэрокосмический мониторинг, диагностика морских подповерхностных процессов, заглубленные стоки, региональная система мониторинга антропогенных воздействий на шельфовые зоны, натурные исследования.

Разработан Фрагмент экспериментального образца системы, обеспечивающей сбор и обработку наземных данных для мониторинга антропогенных воздействий на акватории черноморско-

го побережья у Крымского полуострова и г. Севастополь в интересах предотвращения их загрязнения, который является составляющей частью Системы мониторинга антропогенных воздействий на прибрежные акватории на основе спутниковых и контактных данных, разрабатываемой в НИИ «АЭРОКОС-МОС». Фрагмент экспериментального образца системы включает измерительные комплексы и методики получения актуальной информации; информационные продукты, количественно характеризующие значимые параметры водной среды и уровни антропогенных воздействий; рабочее место оператора, объединяющее комплекс программ, базу данных и геоинформационную систему океанографической направленности. В рамках экспериментальных исследований Фрагмента проведены исследования гидрофизических параметров в районах глубинных стоков с борта НИС «Бирюза», а также подспутниковые эксперименты в районе океанографической платформы в Качивели. Выявлено экологическое неблагополучие прибрежной акватории к югу от Гераклейского полуострова, обнаружены области загрязненных вод, связанные с разрывом подводной магистрали основного сбросового устройства г. Севастополя.

Исследования проведены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (уникальный идентификатор проекта RFMEFI57714X0110).

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ МГИ РАН В РАМКАХ МЕЖДУНАРОДНЫХ ПРОЕКТОВ ОБМЕНА ДААННЫМИ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Белокопытов В.Н., Халиулин А.Х., Ингеров А.В., Годин Е.А.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
v.belokopytov@gmail.com*

Ключевые слова: базы и банки данных, информационное обеспечение, океанографическая информация.

Работы по созданию банков океанографических данных и прикладного программного обеспечения были начаты в МГИ в

середине 1980-х гг. Значительную роль в развитии данного направления играло участие в международных проектах, таких как: MEDAR/MEDATLAS II, Black Sea SCENE, SEADATANET, EMODNET, EMBLAS (UNDP) и др. Около 20 лет МГИ представлял Украину в системе Международного обмена океанографическими данными, банк данных «Черное море» содержит более 160 тыс. станций.

В одном из последних проектов – PERSEUS «Policy-oriented marine Environmental Research for the Southern European Seas» было разработано программное обеспечение ODV QC Utility для контроля качества данных и Desktop oceanographic interface для анализа океанографической информации в стиле ГИС-приложений.

В основе QC Utility лежит автоматическая процедура проверки метаданных и данных, учитывающая рекомендации МОК ЮНЕСКО и опыт международных проектов, в ходе которых формировались океанологические базы данных. Программа работает с файлами в форматах ODV и SDN Spreadsheet и использует стандартные принятые в международном обмене данными словари параметров (P01, P02), единиц измерения (P06) и флагов качества (L20), разработанные в BODC.

Oceanographic interface, созданный на базе программы «Гидролог» для обращения к данным банка PERSEUS в формате MS ACCESS, автоматизирует построение карт, разрезов и вертикальных профилей. Пользователю предоставляются широкий круг возможностей для обработки данных, таких как вывод в изопикнических координатах, определение глубины залегания заданной изоповерхности, нахождение экстремумов, средние значения для заданных слоев и др.

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ПО ОТЛОЖЕНИЯМ ЦУНАМИ

Пинегина Т.К.

*ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия
pinegtk@yandex.ru*

Ключевые слова: отложения цунами, база данных, цунамиопасность, геоинформационные системы.

Проблема прогнозирования места, времени и параметров цунами, связанная с проблемой прогноза вызывающих их землетрясений, до сих пор не решена, и вряд ли может быть решена в обозримом будущем. Поэтому особое значение приобретает оценка вероятности возникновения цунами в той или иной части побережья и его возможной интенсивности. Очевидно, что такая оценка должна базироваться, во-первых, на получении как можно более длительных временных рядов наблюдений и подробных данных по уже произошедшим цунами и, во-вторых, на использовании соответствующего аппарата визуализации, обработки и интерпретации этих рядов. Первая задача может быть решена включением в ряды исторических сведений о цунами, также данных, полученных на основе реконструкции параметров голоценовых цунами по их отложениям. Вторая – применением современных, основанных на ГИС-приложениях, способов их обработки.

Возможности ГИС существенно упрощают визуализацию и анализ имеющихся разнородных сведений и, что особенно важно, помогают выявить закономерности в проявлениях цунами на отдельных побережьях (обусловленные, скажем, формой бухт или прибрежной батиметрией), и отфильтровать противоречия и неточности в геологической и исторической информации о цунами.

В докладе показана предлагаемая автором структура БД по отложениям цунами и возможности БД при ее использовании для оценки цунамиопасности (на примере побережья Камчатки).

Работа выполняется при частичном финансировании по проекту РФФИ №15-05-02651.

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ И ВНЕДРЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ В ЧЕРНОМОРСКО-АЗОВСКОМ РЕГИОНЕ

Георга-Копулос А.А.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
evpator-gk@yandex.ru*

Ключевые слова: оперативная океанография, национальная морская политика, региональная система дистанционного мониторинга морской акватории.

Обновленная Морская Доктрина Российской Федерации определила приоритет национальной морской политики России на Черном и Азовском морях: ускоренное восстановление и всестороннее укрепление стратегических позиций Российской Федерации, поддержание мира и стабильности в регионе.

В этой связи Россией обозначен ряд направлений реализации национальной морской политики на Черном море, среди которых особую важность имеет проведение комплексных научных исследований, включающих контроль над состоянием морских экосистем, прогнозирование гидрометеорологических и гидрофизических явлений, представляющих угрозу для населения прибрежной зоны, подводных трубопроводов и других объектов.

Одним из эффективных методов, который позволит реализовать обозначенные приоритетные задачи в регионе, является создание перспективной региональной системы оперативного мониторинга морской среды Черного и Азовского морей. Такая система позволит существенно повысить в Черноморско-Азовском регионе эффективность контроля над состоянием и изменениями морских экосистем в условиях активного антропо-

генного воздействия, а также повысить качество прогнозирования гидрометеорологических и гидрофизических явлений, представляющих угрозу для береговой зоны и потенциально опасных подводных объектов.

Создание и внедрение указанной системы внесет существенный вклад в развитие морского приборостроения и будет способствовать созданию условий для дальнейшего развития инновационных морских технологий в Черноморско-Азовском регионе, что положительно скажется на социально-экономическом уровне развития региона.

СЕКЦИЯ 5 «КОМПЛЕКСНЫЕ МОДЕЛИ И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ПРОЦЕССЫ»

АДАПТИВНЫЕ МОДЕЛИ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ МОРЯ

Тимченко И.Е., Игумнова Е.М.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
timchenko.syst.analysis@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: управление адаптивной системой «Берег – море», рентабельность производства, загрязнение, биоразнообразие среды.

Одной из главных проблем экологической экономики прибрежных зон моря является поступление с береговым стоком в морскую среду отходов производства, негативно влияющих на морскую экосистему. В докладе рассмотрены принципы управления эколого-экономическими системами «Берег – море», позволяющие оптимизировать рентабельность экономических подсистем «Берег» по критериям уровня загрязнения и биоразнообразия экологических подсистем «Море». Построены концептуальные модели управления для двух видов подобных систем, в которых функции управления выполняют агенты, формирующие сценарии процессов развития. Формализация моделей выполнена предложенным авторами методом адаптивного баланса влияний, который обеспечивает взаимную адаптацию внутрисистемных процессов и сохраняет их баланс с внешними влияниями. В первой модели исследовано управление балансом накопления и ассимиляции загрязнений в море в зависимости от различных вариантов экономических санкций за загрязнение. Показано, что учет динамики морской среды, увеличивающий скорость ассимиляции загрязнений, повышает рентабельность производства. Во второй модели сделан акцент на сохранении индекса биоразнообразия морской среды. С этой целью применена более сложная модель подсистемы «Берег», в которой формиро-

вался фонд природоохранных действий и появилась возможность перевода производства на новые технологии, понижающие уровень загрязнения и повышающие индекс биоразнообразия морской среды. Практическое значение эти модели приобретают благодаря методу адаптивного баланса влияний, которым они построены. С помощью этого метода любая сложная система причинно-следственных связей может быть относительно просто превращена в имитационную компьютерную модель для прогноза возможных сценариев процессов развития в этой системе.

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ АЗОВСКОГО МОРЯ

Черкесов Л.В.¹, Шульга Т.Я.^{1,2}

¹ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия

²Филиал МГУ в г. Севастополе, Россия

shulgaty@mail.ru

Ключевые слова: Азовское море, трехмерная сигма-координатная модель, сгонно-нагонные явления, эволюция пассивной примеси.

Методом численного моделирования исследована структура полей скоростей течений и пространственно-временная изменчивость сгонно-нагонных колебаний уровня в Азовском море, возникающих под действием атмосферных возмущений различной природы. Анализируется влияние генерируемых при этом течений и волн на эволюцию полей загрязнений. Для этого исследования применяется трехмерная сигма-координатная модель POM (Princeton Ocean Model), адаптированная к району Азовского моря. Исследовано влияние водообмена с Черным морем на динамические процессы, возникающие в Азовском море.

Анализ динамических процессов и их влияние на распространение загрязняющих веществ в Азовском море выполнен с использованием данных атмосферной модели SKIRON. Проведен прогностический расчет динамических процессов, возникающих в бассейне под действием полей ветра и атмосферного давления в зависимости от изменения метеорологических данных, и наличия стационарных течений.

Установлены зависимости характеристик сейшеобразных колебаний от параметров атмосферных воздействий. Определены условия возникновения опасных штормовых нагонов в Азовском море, вызванных колебаниями атмосферного давления и продолжительно действующим ветром. Приведено сравнение результатов моделирования и натурных наблюдений в данном районе.

ВЯЗКОПЛАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В АЗОВСКОМ МОРЕ

Букатов А.Е., Завьялов Д.Д., Соломаха Т.А.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
zavyalov.dd@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: Азовское море, морской лед, реология льда, динамика, сплоченность, дрейф льда.

На основе разработанной конечно-элементной модели совместной динамики воды и льда выполнено исследование влияния вязкопластической реологии льда на формирование поля его сплоченности в акватории Азовского моря. Показано, что учет реологических свойств заметно влияет на перераспределение льда в областях с высоким балом сплоченности. Формирование зон повышенной сплоченности отмечено в южной части Таганрогского залива и у входа в Керченский пролив при ветрах всех северных румбов, а также в Утлюкском лимане, Арабатском и Темрюкском заливах при северном ветре и у побережья в районе между Казантипским заливом и мысом Зюк при северо-

восточном ветре. Здесь отмечается и наибольшая скорость затухания энергии, обусловленной силами внутреннего взаимодействия во льду.

Проведен анализ зависимости динамики сплоченности дрейфующего льда от величины предельного давления ледового сжатия и изменений коэффициентов трения на поверхностях раздела воздух-лед и лед-вода. Определены величины коэффициентов трения, отвечающие наиболее близкому к реальному распределению поля сплоченности дрейфующего льда в Азовском море. Сопоставление результатов численных расчетов распределения ледяных полей с ледовой обстановкой, полученной из анализа снимков спутника ИСЗ NOAA-18, показало, что наилучшая согласованность пространственных характеристик ледяного покрова отмечается при значениях предельного давления ледового сжатия 0,5 кПа и соотношении коэффициентов трения лед-воздух и лед-вода 0,3.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСПЕРСИИ РАДИОАКТИВНОЙ ПРИМЕСИ В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ОКЕАНИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ

Благодатских Д.В., Сороковикова О.С., Дзама Д.В.

*ИБРАЭ РАН, г. Москва, Россия
blagodat@ibrae.ac.ru*

Ключевые слова: лагранжевая модель, распространение примеси, сезонный термоклин.

К числу объектов ядерного наследия, представляющих потенциальную опасность для экологической обстановки, относятся базы технического базирования атомных подводных лодок (АПЛ) в гб. Андреева и пос. Гремиха. Кроме того, осуществляется утилизация АПЛ в Дальневосточном регионе. Несмотря на то, что вероятность аварии с выбросом радиоактивных веществ в водную среду при проведении работ на таких объектах невелика, тем не менее, существует потребность в оценке риска в

зависимости от различных сценариев развития аварии.

Для прогнозирования подобных рисков в ИБРАЭ РАН разрабатывается программное средство на основе лагранжевой модели. Учет дисперсии осуществляется посредством решения уравнения адвекции-диффузии методом стохастических испытаний. Перенос примеси рассматривается как случайное смещение лагранжевых частиц. В процессе моделирования переноса примеси вдоль береговой линии учитывается отражение от берегов.

В коде реализован квазидвумерный вариант, в котором предполагается, что примесь перемешана равномерно по вертикали. Глубина перемешивания ограничена сезонным термоклином.

В программном средстве реализован доступ к базам данных по океаническим течениям и глубинам слоя перемешивания. Планируется переход на полностью трехмерный вариант.

ЛАГРАНЖЕВАЯ СТАХОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КРУПНЫХ ЧАСТИЦ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АВАРИЙНОГО ВЫБРОСА ПРИМЕСИ ВЫШЕ СЕЗОННОГО ТЕРМОКЛИНА С УЧЕТОМ ДЕТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ

Сороковикова О.С., Дзама Д.В.

*ИБРАЭ РАН, г. Москва, Россия
olga_sorokov@mail.ru*

Ключевые слова: аварийный выброс радионуклидов, поверхностное загрязнение, лагранжевая модель.

Представлено несколько версий численных моделей и алгоритмов для моделирования аварийного поверхностного загрязнения водных акваторий при наличии больших градиентов концентраций (аварийный выброс). Предложена методология и алгоритмы учета реальной геометрии береговой линии в задачах распространения загрязнения стохастическими методами Монте-Карло с использованием специальных не точечных

стохастических частиц конечных размеров. Обсуждаются вопросы точности и распараллеливания данных алгоритмов. Рассмотрены специальные задачи в случае радиоактивного загрязнения. Осуществлена реализация цепочек распада для этих задач.

ТРАНСПОРТ МИКРОПЛАСТИКОВЫХ ВОЛОКОН В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ: РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Мизюк А.И.¹, Багаев А.В.²

¹ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия

²АО ИО РАН, г. Калининград, Россия
artem.mizyuk@yandex.ru

Ключевые слова: микропластик, волокна, численное моделирование, лагранжев перенос.

Загрязнение морских экосистем пластиковыми отходами приобретает угрожающие масштабы. Микропластик – общее название для малых (с характерным размером от 1 до 5 мм) и неразлагающихся фрагментов искусственных полимеров. За счет большой площади эффективной поверхности микропластик активно сорбирует различные экотоксиканты. Попадая в пищеварительную систему морских микроорганизмов, микропластик продвигается по пищевой цепочке и вместе с токсическими веществами накапливается в теле рыб и морских птиц. Проблема такого загрязнения порождает значительный интерес с точки зрения его источников, физических механизмов переноса и выявления областей наибольшей концентрации.

В настоящей работе выполнена попытка численного моделирования переноса и накопления одной из наблюдаемых фракций микропластика – волокон – в бассейне Балтийского моря. Данная фракция представляет собой частицы с небольшой отрицательной плавучестью. Они медленно тонут и наблюдаются в

придонном слое и в осадках чаще, чем в пробах морской воды из водной толщи.

Численное моделирование транспорта волокон выполнено в режиме «офф-лайн» с использованием продуктов реанализа службы Copernicus для Балтийского моря. Перенос рассчитывается на основе адаптированной модели лагранжевых траекторий TRACMASS. Эксперименты позволили получить возможные траектории движения волокон в зависимости от зоны выброса с учетом оседания, а также показали зоны накопления микропластика в донных отложениях.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект №15-17-10020).

ПЫЛЕВЫЕ ДЬЯВОЛЫ И ВОДЯНЫЕ СТРУИ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ: ГЕНЕРАЦИЯ И НЕЛИНЕЙНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ

Похотелов О.А., Онищенко О.Г.

*ИФЗ РАН, г. Москва, Россия
pokh@ifz.ru*

Ключевые слова: пылевые дьяволы, атмосферные вихри, торнадо, водяные струи.

В рамках гидродинамической модели исследована генерация пылевых дьяволов и водяных струй в конвективно-неустойчивой атмосфере. Показано, что в атмосфере с зародышевым медленным крупномасштабным движением (вращением вдоль вертикальной оси) из конвективных ячеек генерируются мелкомасштабные вихри с сильным тороидальным вращением. Выведены уравнения, описывающие осесимметричные нелинейные внутренние гравитационные волны в неустойчивой атмосфере. Показано, что в такой атмосфере конвективные плюмы с полоидальным движением могут экспоненциально нарастать. Исследованы вихревые структуры, возникающие в слоях, содержащих крупномасштабные зародышевые структуры

с вертикальной завихренностью. Используя точное аналитическое решение уравнений идеальной гидродинамики, исследована структура вертикальной завихренности и тороидальной скорости атмосферного вихря. Результаты находятся в хорошем соответствии с существующими наблюдениями пылевых дьяволов и водяных струй, а также лабораторного моделирования. Пылевые дьяволы – удивительное атмосферное явление. Они представляют собой нестационарные вихревые структуры, возникающие в приповерхностном слое днем в безветренную, обычно жаркую погоду. В отличие от торнадо, такие структуры не связаны с облаками и обычно существуют в ясный день. Они видны благодаря мелкой пыли, увлекаемой воздушными потоками. Водяные струи являются интенсивным вихрем, появляющимся в приповерхностном слое атмосферы.

ЭФФЕКТ ВЛИЯНИЯ ОКЕАНА НА ЛАНДШАФТЫ ЭКВАТОРИАЛЬНО-ТРОПИЧЕСКИХ ОСТРОВОВ

Дьяконов К.Н.

*МГУ, г. Москва, Россия
diakonov.geofak@mail.ru*

Ключевые слова: островное ландшафтоведение, циркуляция атмосферы, ветро-волновой режим, время добегания осадков, структура и динамика ландшафта, высотная зональность.

В основе построения теории островной биогеографии лежит, прежде всего, фактор изоляции острова, который обусловлен расстоянием острова от материка. В теории островного ландшафтоведения на первое место выступают факторы размера острова, его высоты и циркуляции атмосферы. Становление эмпирической теории островного ландшафтоведения оказалось возможным благодаря участию советских ученых в экспедиционных исследованиях на НИС на экваториально-тропические острова в Тихом и Индийском океанах, которые были осу-

ществлены в рамках международной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера».

Специфика структуры и динамики ландшафтов обусловлена волно-прибойной деятельностью моря, интенсивностью развития муссонных и пассатных ветров, площадью острова, которая определяет степень трансформации натекающих на подстилающую поверхность океанических воздушных масс. Размер острова, водно-физические свойства горных пород и, самое главное, соотношение продолжительности внутрисезонного периода без осадков и с осадками (средний элементарный синоптический цикл) и время добегаания их в океан определяют степень развития эрозионно-речной сети, с которой напрямую связано био- и ландшафтное разнообразие острова. Совместная роль факторов высоты и размера острова обуславливает высотную дифференциацию ландшафтов. Установлена нелинейная связь верхней границы лесной зоны от площади острова. На малых островах, площадью до 0,02 тыс. км², верхняя граница леса расположена на высотах 450 – 600 м. На островах, имеющих площадь 1 – 10 тыс. км², граница лесной зоны проходит на высотах 1100 – 1200 м, на очень больших, площадью более 800 тыс. км² – на высотах 2500 – 3000 м.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

СЕКЦИЯ 1 «МОДЕЛИ. МЕТОДЫ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

ВЛИЯНИЕ ПОТОКОВ ТЕПЛА, ОСАДКОВ И ИСПАРЕНИЯ НА ЦИРКУЛЯЦИЮ МРАМОРНОГО МОРЯ

Довгая С.В., Демышев С.Г., Шокуров М.В.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
dovgayasvetlana0309@yandex.ru*

Ключевые слова: гидрофизическая модель, Мраморное море, циркуляция, поверхностная плотность теплового потока, осадки, испарение, циклон, антициклон.

На основе нелинейной вихреразрешающей трехмерной модели циркуляции проведен численный эксперимент по формированию гидродинамической структуры вод Мраморного моря в 2008 г. под воздействием атмосферного возмущения и водообмена через проливы Босфор и Дарданеллы. На поверхности на каждые сутки задаются поля тангенциальных напряжений трения ветра, потоки тепла, осадки и испарение, полученные по данным расчета региональной атмосферной модели ММ5.

Проведенный эксперимент показал, что атмосферные потоки существенно повлияли на образование динамических структур в поверхностном слое моря. Так, в зимнее время при отрицательной плотности теплового потока с интенсивным испарением в юго-восточной части бассейна и выпадением осадков над северной частью моря формируются условия для увеличения градиента в поле плотности поперек течения воды от пролива Босфор к проливу Дарданеллы, что усиливает влияние адвекции и обеспечивает генерацию циклонического вихря в юго-восточной части бассейна и антициклонического – в северной. В весеннее

время при положительной поверхностной плотности теплового потока и отсутствии осадков и испарения увеличивается площадь антициклонического круговорота в центральной части бассейна. Осенью, с вхождением холодных воздушных масс при наличии довольно прогретых за лето вод поверхностного слоя моря, в юго-восточной области бассейна формируется циклонический круговорот.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЧЕРНОГО МОРЯ С УЧЕТОМ ОСНОВНЫХ ПРИЛИВНЫХ ГАРМОНИК

Лукьянова А.Н.¹, Залесный В.Б.², Иванов В.А.¹

¹ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия

*²ИВМ РАН, г. Москва, Россия
annieromanenko@gmail.com*

Ключевые слова: Черное море, численное моделирование, приливы.

В работе проведен анализ результатов ряда численных экспериментов, выполненных на основе численной σ -модели Черного и Азовского морей Института вычислительной математики РАН (ИВМ РАН). Модель была модифицирована путем учета гармонических представлений приливообразующих сил в уравнениях динамики океана.

В качестве приливообразующих сил были использованы 4 главные гармоники, соответствующие лунной полусуточной (M_2), лунной суточной (O_1), солнечной полусуточной (S_2) и лунно-солнечной деклинационной суточной (K_1) гармоникам приливного потенциала.

Рассчитаны амплитуды главных приливных гармоник и максимальные величины приливов для Черного моря, построены котидальные карты. Выявлено, что характеристики гармоник устанавливаются быстро, в течение нескольких недель с начала расчета.

Проведено сравнение результатов моделирования приливных характеристик с данными анализа многолетних натуральных наблюдений уровня моря. Показано, что наблюдается хорошее соответствие результатов анализа численного моделирования и натуральных данных.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В ГЛУБОКОВОДНОМ ОКЕАНЕ С ПОМОЩЬЮ АТТРАКТОРОВ ВНУТРЕННИХ ВОЛН

Сибгатуллин И.Н.¹, Ерманиук Е.В.², Брузе К.³, Доксуа Т.³

¹*ИО РАН, г. Москва, Россия*

²*ИГиЛ РАН, г. Новосибирск, Россия*

³*ENS de Lyon, Lyon, France*

sibgat@ocean.ru

Ключевые слова: внутренние волны, волновая турбулентность, волновые аттракторы, перемешивание.

Океан, в отличие от атмосферы, не является типичной тепловой машиной. В отсутствие внешних механических воздействий (ветра, приливов и пр.) океан представлял бы собой двухслойную систему с прогретым верхним слоем и практически однородной толщей холодной воды. К глубинным слоям океана механическая энергия поступает глобально (за счет приливов) и локально (за счет перетоков в глубоководных разломах). Изучение глобального механизма требует описания каскадного переноса энергии от баротропного прилива к бароклинному и далее к мелкомасштабным внутренним волнам и перемешиванию. В силу особого дисперсионного соотношения внутренние волны при отражении от наклонных поверхностей способны фокусироваться. Как было показано Лео Маасом в 1995 – 1997 годах, внутренние волны могут образовывать волновые аттракторы – структуры в физическом пространстве, к которым притягиваются волны после многократных отражений от границ области. В настоящее время

проведены детальные исследования волновых аттракторов малой амплитуды, хорошо соответствующих линейной теории. Мы провели экспериментальное и численное моделирование аттракторов внутренних волн при умеренной и большой амплитуде внешних колебаний. С помощью преобразований Гильберта с фильтрацией в частотной области и по пространству показано, что при умеренных амплитудах неустойчивость возникает из-за трехволнового взаимодействия. При увеличении внешних колебаний две дочерние волны, в свою очередь, становятся неустойчивыми и возникает каскад триадных взаимодействий, приводящий к линейчатому спектру на фоне сплошного. С помощью функции плотности вероятности завихренности и критерия Майлза-Ховарда показано, как возникает вертикальное перемешивание за счет опрокидывания внутренних волн и эволюция фоновой стратификации.

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПЕРЕНОС ИМПУЛЬСА ВНУТРЕННИМИ ВОЛНАМИ

Слепышев А.А.¹, Воротников Д.И.²

¹*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия*

²*Филиал МГУ в г. Севастополе, Россия
slep55@mail.ru, infsup@yandex.ru*

Ключевые слова: внутренние волны, турбулентность, стоков дрейф, поток импульса, критический слой.

Проблема вертикального обмена в морской среде имеет несомненную важность при решении задач экологии, диффузии примесей и растворенных веществ. Процессы обмена осуществляют вентиляцию вод и играют ключевую роль в переносе кислорода вглубь моря, а сероводорода – из глубинных слоев Черного моря. Традиционно вертикальный обмен связывается с мелкомасштабной турбулентностью, которая имеет перемежаемый характер.

Внутренние волны при учете турбулентной вязкости и диффузии осуществляют вертикальный перенос импульса ввиду фазового сдвига между колебаниями двух компонент скорости, отличного от $\pi/2$. У инерционно-гравитационных внутренних волн в двумерном течении с вертикальным сдвигом скорости уравнение для амплитуды вертикальной скорости имеет комплексные коэффициенты даже при неучете турбулентной вязкости и диффузии. Собственная функция и частота волны – комплексные (показано, что имеет место слабое затухание волны). Вертикальные волновые потоки импульса отличны от нуля и могут превышать турбулентные потоки. Поперечная к направлению распространения волны компонента скорости стоковского дрейфа отлична от нуля и на порядок меньше продольной. Дисперсионные кривые внутренних волн в низкочастотной области испытывают обрезание, обусловленное влиянием критического слоя, где частота волны со сдвигом Доплера равна инерционной. У второй моды обрезание происходит на большей частоте, чем у первой.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА МЕСТНОГО ВЛИЯНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРИБРЕЖНЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ

Соколов А.Н., Чубаренко Б.В.

*АО ИО РАН, г. Калининград, Россия
AnSokolov@kantiana.ru*

Ключевые слова: прибрежные течения, ветровое волнение, местное влияние, локальный ветер, закрытые границы.

Значительную часть задач океанологического моделирования, с которыми приходится сталкиваться в практической деятельности, можно отнести к разряду «локальных», ограниченных сравнительно небольшой территорией и временными рамками. В работе на примере расчета уровня волнового нагона и

скоростей течений у побережья Вислинской косы и побережья Самбийского полуострова (Балтийское море, Калининградская область) показаны результаты практического применения подхода, основанного на гипотезе доминирующего фактора «местного влияния» на гидродинамические процессы.

При расчетах использовались следующие упрощения:

1) для решенных задач выбиралась расчетная область «адекватного» размера – с одной стороны, как можно меньше, для ускорения расчета, но с другой – достаточно протяженной, для учета необходимых физических влияний, например, длин разгона волн;

2) поскольку предполагалось, что границы достаточно удалены от интересующего фрагмента прибрежной зоны и влияние граничных условий на результат незначительно, на них выставлялось условие закрытых границ;

3) данные локальных измерений скорости и направления ветра вблизи «зон интересов» экстраполировались на всю расчетную область.

Представлены результаты расчетов в сравнении с данными прямых измерений, обсуждены эффекты, которые хорошо воспроизводились и эффекты, которые выходили за ее рамки.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РЕЧНЫХ ВОД НА СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВЕТРОВЫХ РЕЖИМАХ

Цыганова М.В.¹, Лемешко Е.М.², Рябцев Ю.Н.¹

¹*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия*

²*ЧГП РАН, г.м. Кацивели, Россия*

m.tsyganova@mhi-ras.ru

Ключевые слова: речной сток, вдольбереговое течение, Черное море.

Основными факторами, влияющими на динамику вод на северо-западном шельфе Черного моря, являются речной сток, водообмен с открытым морем и ветер. В совокупности эти фак-

торы определяют такой режим вод на шельфе, когда в осенне-зимнее время вода перемешана от поверхности до дна, а в весенне-летнее из-за сильного прогрева образуется двухслойная стратификация. Распресняющее действие стока рек способствует усилению общей стратификации и формированию фронтальной зоны, существующей в весеннее время и распространяющейся вдоль западного побережья Черного моря.

Исследуется распространение речных вод, формирование гидрологической структуры вод, динамика стокового течения и образование термохалинных фронтов на северо-западном шельфе Черного моря при различных направлениях ветра. Для этого используется трехмерная сигма-координатная численная модель ECOMSED (<http://www.hydroqual.com/ehst.html>), адаптированная для шельфа и эстуариев для расчета циркуляции в прибрежной зоне и переноса взвеси (Estuarine and Coastal circulation Model and SEDiment transport). Параметры модели подобраны в соответствии с исследуемой областью: район впадения Дуная в Черное море. Воздействие ветра не рассматривалось. Исследуется распространение речных вод, формирование вдольберегового течения для различных сезонов года: весенне-летнего половодья и гидрологической зимы. Обсуждается влияние величин расхода реки и ветра для обоих случаев на формирование стокового вдольберегового течения и структуру вод в прибрежной зоне южнее дельты.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МОРФОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ КРЫМА

Харитонов Л.В., Алексеев Д.В., Фомин В.В., Иванча Е.В.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
kharitonova.dntmm@gmail.com*

Ключевые слова: донные наносы, морфодинамика, волны, течения, моделирование, береговая зона, Черное море, Крым.

Каркинитский залив является наибольшим заливом северо-западной части Черного моря. В силу морфологических особен-

ностей (сложная орография – острова, банки и косы, мелководность залива – глубины 10 – 35 м, наличие значительного количества пляжеобразующих песчаных наносов) в заливе происходят интенсивные морфодинамические процессы. Наиболее существенно эти процессы наблюдаются в районе выдающейся на 8 км в залив Бакальской банки и заключаются в размыве западного берега косы; смещении ее дистальной части в северо-восточном направлении; уменьшении ширины косы в районе перешейка, соединяющего основное тело косы с дистальной частью; отделении дистальной части от основного тела косы. После штормов, прошедших осенью 2010 г., перешеек был размыв и до настоящего времени так и не восстановился, а дистальная часть косы превратилась в остров.

Интенсивность и пространственная структура морфодинамических процессов обусловлены как природными, так и антропогенными факторами. К природным факторам относятся ветровые волны, течения, сгонно-нагонные колебания уровня моря. Одним из наиболее существенных антропогенных факторов является изменение естественного рельефа берегов и дна за счет изъятия грунта. К северу от Бакальской косы на расстояние до 40 км тянется узкая подводная отмель – Бакальская банка. Глубины над ней составляют всего 3,5 – 4 м.

В данной работе представлены результаты численного моделирования эволюции Бакальской косы при различных сценариях изъятия грунта в районе Бакальской банки. Использовалась численная модель XBeach (eXtreme Beach behavior). Рассмотрено воздействие ветровых волн различных направлений и интенсивности на динамические процессы в районе исследования.

СЕКЦИЯ 2 «ФИЗИКА ОКЕАНА. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА»

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГОДОВОГО ХОДА ТЕРМОХАЛИННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ О. САХАЛИН

Архипкин В.С., Пищальник В.М.

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

Ключевые слова: циркуляция вод, термохалинная структура, океаническая модель ВОМ, прибрежная зона, остров Сахалин.

Развитие нефтегазовых проектов на шельфе о. Сахалин инициировало исследования современного состояния термохалинной структуры и циркуляции вод в его прибрежной зоне. В качестве инструментов этого исследования использовались ГИС «Сахалинский шельф» и океаническая модель ВОМ Бергенского университета. ГИС «Сахалинский шельф» разработана на основе данных океанографических наблюдений на стандартных разрезах за период с 1948 по 1994 гг. На ее основе методами статистического моделирования восстановлен годовой ход температуры и солёности воды на стандартных горизонтах этих разрезов.

Восстановление полей температуры и солёности в узлах регулярной сетки по данным отдельных океанографических станций на стандартных разрезах осуществлялось методом математического моделирования с помощью океанической модели ВОМ. Суть этого подхода заключается в том, что температура и солёность воды на этих станциях остаются постоянными в течение всего времени моделирования. В тоже время температура и солёность морской воды в узлах регулярной сетки, не совпадающих с положением станций на стандартных разрезах, начинают изменяться и приспособливаться к рельефу дна и циркуляции

вод. Расчет прекращался при выходе уровня моря и кинетической энергии течений на стационарный режим во всех узлах регулярной сетки. При моделировании атмосферное давление, ветровое напряжение и потоки тепла и солей на поверхности моря не задавались. Коэффициенты горизонтальной вязкости и горизонтальной диффузии вычислялись по формуле Смагоринского. В результате анализа расчетных данных выявлены новые черты циркуляции вод и термохалинных полей вокруг о. Сахалин для разных сезонов.

ОЦЕНКА СКОРОСТИ ЭВОЛЮЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Бабий В.И., Бабий М.В.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
marbab@yandex.ru*

Ключевые слова: случайные геофизические поля, пространственно-временные корреляции, временная эволюция, скорость эволюции.

Рассмотрены результаты экспериментального исследования фундаментального свойства случайных геофизических полей – их «незамороженности». Количественной характеристикой временной эволюции случайного поля (или степени его «незамороженности») могут служить параметры, определяемые по максимальным значениям функции взаимной корреляции элементов поля в разные моменты времени, зависящие от масштаба пространственного осреднения и временного сдвига. Для анализа использовались опубликованные данные многоточечных синхронных измерений различных естественных случайных геофизических полей в океане, атмосфере и в аэродинамической трубе. Исследования выполнены методом полного корреляционно-экстремального анализа. Скорость эволюции V есть отношение пространственных и временных масштабов неоднородностей по уровням заданной равной корреляции. В рамках квадратичной

формы в некотором диапазоне масштабов выполняется постоянство величины V , которая является довольно устойчивой характеристикой временной эволюции случайных полей самой различной природы. Получены оценки интегрального статистического параметра V : в воздушной среде, как для тропосферы, так и в аэродинамической трубе за решеткой $V \approx 0,65$ м/с, в океанской среде $V \approx 0,01$ м/с, которые показывают порядок этих величин. Это основной параметр аналога дисперсионного соотношения для случайно-неоднородных эволюционирующих сред, которое показывает пределы практической предсказуемости в оперативной океанографии, поскольку при временной эволюции случайного поля мелкомасштабные неоднородности быстрее теряют свою «индивидуальность». Параметр V приложим также для характеристики эволюции аномалий случайных полей как естественного, так и искусственного происхождения (уединенных волн, кильватерных струй и т.п.).

ВЕТРОВОЕ ВОЛНЕНИЕ В КАРКИНИТСКОМ ЗАЛИВЕ

Гармашов А.В., Толочков Ю.Н., Коровушкин А.И.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
ant.gar@mail.ru*

Ключевые слова: ветровое волнение, высота волн, период волн, натурные измерения, повторяемости, Черное море.

В статье приводятся результаты мониторинга ветрового волнения, проводимого в 2000 – 2002 гг. и 2008 – 2011 гг. на морской стационарной газодобывающей платформе «Голицыно-4», расположенной в северо-западной части Черного моря. Платформа находится в точке с координатами 45°42,5' с.ш. и 31°52,5' в.д. (расстояние до берега примерно 50 км), глубина в данном месте составляет 30 м. Для измерения высот волн использовался витой волнограф. Запись ветрового волнения проводилась 1 раз в час. Длина одной записи составляла 12288 измерений или 3072 с (51,2 мин). В результате анализа 23 тысяч

волнограмм получены основные статистические характеристики ветрового волнения, описывающие волновой режим в 2000 – 2002 гг. и 2008 – 2011 гг. В летние месяцы средние высоты волн составляли 0,2 – 0,3 м, в зимние месяцы волнение примерно в 2 раза сильнее (0,5 – 0,6 м). Наибольшая высота волны, зарегистрированная летом, составляла 4,3 м, а зимой – 6,3 м. Из спектров волнения были рассчитаны пиковые периоды волнения. Летом средние периоды волнения составляют примерно 4 с, а зимой 5 – 6 с. Максимальные периоды волнения в течении всего года могут достигать 10 с. Наибольшую повторяемость (51,5%) имело волнение со средними высотами 0,25 – 0,75 м. Повторяемость данного типа волнения менялась от 34% в июле до 69% в январе. Волнение со средними высотами волн более 2 м было зарегистрировано только в ноябре.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00067 мол_а.

АПВЕЛЛИНГ У БЕРЕГОВ ЗАПАДНОГО КРЫМА

Горячкин Ю.Н.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
yngor@yandex.ru*

Ключевые слова: Западный Крым, апвеллинг, спутниковые и контактные данные.

В отличие от акватории, прилегающей к Южному берегу Крыма, явление апвеллинга (сгона) у берегов Западного Крыма изучено слабо. Вместе с тем, апвеллинг – один из немногих естественных процессов, который в летний курортный период способствует очищению акватории и обеспечивает насыщение прибрежных вод кислородом. В связи с проектами развития западного побережья Крыма исследования процессов самоочищения вод приобретают особую актуальность. Целью работы было получение режимно-статистических характеристик апвеллинга на акватории, прилегающей к западному побережью Крыма, выявление связи с ветровыми условиями. Использовались клима-

тический массив гидрологических данных МГИ РАН, данные срочных наблюдений над ветром и температурой воды на МГС Евпатория и Черноморское (1915; 1948 – 2013 гг.), данные спутниковых наблюдений за температурой поверхности моря с 2005 по 2013 гг.

В качестве критерия случая апвеллинга принималось значение отрицательных аномалий поверхностной температуры, превышавших по абсолютному значению 3°C. Выделено 212 случаев апвеллинга. Наибольшее количество приходится на июль, наименьшее – на сентябрь. Ежегодно происходит 1 – 2 события апвеллинга (56% случаев), реже 3 – 4 (35% случаев), более 4 раз зарегистрировано в 6% случаев. Выделены две основные ситуации развития апвеллинга. При первой, наиболее распространенной, он начинает развиваться у м. Тарханкут, у относительно приглубого берега. При этом наблюдается ветер западной четверти. После возникновения апвеллинга, холодные воды в результате адвекции начинают распространяться вдоль берега на юго-восток. При второй, апвеллинг развивается непосредственно в Каламитском заливе или прилегающих районах. При этом наблюдается ветер с берега, в виде относительно короткого, но сильного импульса. Многолетней тенденции к уменьшению или увеличению числа апвеллингов не выявлено. Получена статистика времени становления, интенсивности и продолжительности апвеллинга.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РЕКИ И МОРЯ В УСТЬЕВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЗАПАДНОЙ АРКТИКИ

Инжебейкин Ю.И.

*ИАЗ ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия
uinzheb@mail.ru*

Ключевые слова: приливные моря Арктики, устья рек, взаимодействие реки и моря, изменчивость гидрологических и гидрохимических элементов, гидробиологические характеристики.

Устьевые области находятся под постоянным воздействием реки и моря. Сложный гидрологический, гидрохимический и

гидробиологический режим этих областей складывается в результате взаимодействия морских и речных вод. Формирование и развитие рельефа и гидрографической сети устьевых областей и даже всей экологической системы того или иного устья является результатом взаимодействия реки и моря. Но устья рек Западной Арктики отличаются от устьевых областей других рек, впадающих в Арктические моря, тем, что в динамике вод первых (а, следовательно, и в процессе взаимодействия реки и моря) весьма существенна роль морских приливов. Объектом исследования являются компоненты экосистем приливных устьев рек Арктики (Сев. Двины, Печоры, Онеги, Мезени, Унской губы с устьем Вежмы). На основе экспедиционных натурных исследований пространственно-временного распределения этих элементов, а также анализа исторических данных наблюдений оценивается разномасштабная изменчивость гидрологических, гидрохимических и гидробиологических элементов экосистем устьев рек окраинных морей Арктики (Белого, Баренцева), включая их трансформацию в процессе взаимодействия реки и моря.

Рассматриваются гидролого-гидродинамические, гидрохимические и гидробиологические аспекты взаимодействия реки и моря в указанных устьевых областях рек. Проведена типизация последних по типу взаимодействия реки и моря, а также районирование по вкладу основных факторов в формирование гидродинамических элементов и гидрологических полей. Показано, что по степени вертикальной стратификации зон смещения и преобладающим процессам переноса солей и перемешивания вод эти устьевые объекты изменяются от слабо стратифицированного I типа (с доминированием морских факторов, дисперсии и адвекции в транспорте солей, динамического и конвективного вида перемешивания) до сильно стратифицированного III типа (с преобладающим влиянием стока реки, адвективного переноса солей).

АНОМАЛИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Комаровская О.И., Ефимов В.В.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
komarovskaya@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: годовой ход, композиты аномалий, долгоживущие аномалии, гистограммы, особенности распределения.

Как показали исследования на основании массива данных NOAA-ESRL (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/>), усредненные по площади моря среднеквадратичные величины холодных аномалий имеют выраженный годовой ход с максимумом в осенний период.

Выделенные композиты теплых и холодных аномалий температуры поверхности Черного моря для периода 1982 – 2014 гг. характеризуют особенности распределения аномалий по площади моря. Холодные аномалии, более долгоживущие по сравнению с теплыми, достигают наибольшего развития в центральной и западной глубоководных частях моря. Особенности их развития являются быстрое установление и медленное затухание. Выделены отдельные холодные аномалии в центральной части моря в осенний период, в которых температура опускается на 4 – 5°C, а время жизни составляет более месяца. Распределение аномалий в краевых районах моря изменяется в течение года, при этом хорошо выделяется область положительных аномалий в северо-восточном Кавказско-Крымском регионе моря в осенне-зимне-весенний период, связанных с теплопереносом Основным черноморским течением. Построены гистограммы значений температуры для центральной глубоководной части моря, характеризующие асимметрию распределения холодных и теплых аномалий и показывающие преобладание повторяемости долгоживущих холодных аномалий над теплыми. В отличие от этого для северо-западной прибрежной области моря наиболее развитыми и повторяемыми являются теплые аномалии.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЯВЛЕНИЙ ШТОРМОВЫХ НАГОНОВ В АЗОВСКОМ МОРЕ И В ДЕЛЬТЕ РЕКИ ДОН

Лемешко Е.Е.¹, Бердников С.В.², Лемешко Е.М.^{1,3}

¹ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия

²ИАЗ ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия

³ЧГП РАН, н.п. Кацивели, Россия

e.lemeshko@mhi-ras.ru

Ключевые слова: штормовые нагоны, уровень моря, Азовское море, дельта Дона, самоорганизующиеся карты.

Цель работы – типизация и анализ полей уровня Азовского моря по данным альтиметрии методом самоорганизующихся карт, их сопоставление с проявлением сгонно-нагонных явлений по данным измерений уровня моря на постах и в дельте реки Дон для выделения аномальных значений уровня моря, определения повторяемости штормовой ситуации и типизации пространственной изменчивости возвышения морской поверхности. Помимо этого, осуществлялась проверка качества данных альтиметрии путем сопоставления со среднесуточными данными уровня моря.

Использовались суточные данные альтиметрии AVISO и срочные измерения уровня Азовского моря с береговых измерителей уровня с 2003 по 2014 гг. Результаты валидации данных альтиметрии дают достаточно хорошее соответствие для среднесуточных данных (коэффициент корреляции 0,8) и могут быть использованы для изучения пространственно-временной изменчивости уровня Азовского моря от суточных до синоптических масштабов. Получены оценки среднего уровня Азовского моря и среднеквадратичных значений уровня за период 2010 – 2014 гг., что позволило выделить периоды интенсивной пространственной изменчивости уровня, характерной для периодов интенсивных штормовых ситуаций.

В результате получены карты пространственной изменчивости уровня моря, типы пространственной изменчивости уровня

моря для сезонной и межгодовой изменчивостей индекса повторяемости различных типов полей уровня моря.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №16-35-50032 «мол_нр».

ОСОБЕННОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД И ДЕФОРМАЦИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ О. ТУЗЛА (КЕРЧЕНСКИЙ ПРОЛИВ) В ТЕЧЕНИЕ 25 ПОСЛЕДНИХ ЛЕТ

Ломакин П.Д., Чепыженко А.И., Чепыженко А.А.

ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия

p_lomakin@mail.ru, ecodevice@yandex.ru, annachep87@yandex.ru

Ключевые слова: о. Тузла, Керченский пролив, общее взвешенное вещество.

По результатам серии экспедиций, проведенных сотрудниками МГИ, а также анализа спутниковой информации, отслежены изменения в локальной системе течений, динамике общего взвешенного вещества и морфометрических характеристик о. Тузла за временной интервал с 1987 по 2013 гг.

Показано, что локальная динамика вод и взвеси в области Тузлы определяется сгонно-нагонными явлениями, которые были менее значимыми до сооружения тузлинской дамбы. Полуискусственная морфометрическая зонально ориентированная система «о. Тузла + дамба» стала препятствием для разгона меридиональных ветров. Вдоль ее наветренного склона меридиональные ветры вызвали интенсивные нагонные явления и сгонные – вдоль подветренного.

Выявлены четыре участка с максимальным размывом, две области аккумуляции взвешенного вещества и устойчивые к эрозии зоны. Наиболее масштабному размыву подверглась восточная часть Тузлы. Масштаб размыва западной оконечности острова на порядок ниже. Северное побережье острова испытывает меньшую гидродинамическую нагрузку в виде волн и тече-

ний по сравнению с южным за счет ограниченности разгона ветра северных румбов берегом Таманского залива.

Показано, что наиболее значимый антропогенный фактор морфометрических изменений обусловлен строительством дамбы – интенсификацией и качественной трансформацией локальной системы течений и потоков взвешенного вещества. Менее значимыми оказались антропогенные факторы, связанные с дноуглубительными работами, попытками укрепления берега острова бетонными плитами, сооружением перехватывающих потоки взвешенного вещества бун.

МЕЗОМАСШТАБНЫЙ ВИХРЬ КАК КРУПНОМАСШТАБНАЯ ОСОБЕННОСТЬ НОВОРОССИЙСКОЙ БОРЫ

Михайлова Н.В., Ефимов В.В.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
Nataly.Mikhailova@mail.ru*

Ключевые слова: Новороссийская бора, численное моделирование, мезомасштабный вихрь, физический механизм, обтекание воздушным потоком препятствия.

С использованием региональной модели атмосферной циркуляции WRF-ARW воспроизведено несколько эпизодов холодного вторжения и Новороссийской боры, которые сопровождалась образованием над акваторией Черного моря мезомасштабного циклонического вихря, хорошо выделяемого на спутниковых снимках облачности. Показано, что развитие вихря связано с особенностями обтекания воздушным потоком северо-западного края высоких Кавказских гор. Дана оценка величины вертикальной завихренности, связанной с вдольбереговым горизонтальным градиентом температуры. Рассмотрена структура полей скорости и температуры осесимметричного квазидвумерного вихря, который формируется в прибрежной зоне и после отрыва от берега смещается в сторону моря. При фоновом ветре север-

ного направления формирование прибрежной циклонической циркуляции не сопровождается отрывом вихря от берега. Особенностью развития циклонического вихря является юго-восточный ветер со скоростями до 10 м/с в прибрежной области Кавказского побережья в районе Сочи-Сухуми.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛА И СОЛИ В ЧЕРНОМ МОРЕ

Погребной А.Е.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
pogrebok57@mail.ru*

Ключевые слова: турбулентный обмен, потоки тепла и соли, численная модель МГИ.

По данным расчёта численной модели МГИ с временной дискретностью 6 часов за период с 1 января 2007 г. по 31 декабря 2008 г. были произведены оценки горизонтальных потоков тепла и соли в Черном море. Величина и направление потоков в узлах сетки равнялось произведению коэффициента турбулентного обмена на соответствующий горизонтальный градиент. При этом текущие значения коэффициентов турбулентного обмена рассчитывались по пульсационным составляющим поля скорости методом Тейлора.

Анализ пространственной изменчивости этих потоков показал, что горизонтальный обмен в Чёрном море носит очаговый характер, достигая значений $0,1 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ для соли и $10^3 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для тепла. Величины горизонтальных потоков в целом уменьшаются с глубиной, а зоны их максимальных значений находятся в области Основного черноморского течения.

Для основного пикноклина были получены интегральные значения горизонтальных потоков. Для этого величины потоков, умноженные на толщину соответствующего слоя суммировались вдоль вертикали от верхней границы пикноклина до дна. С учётом направления – это интегральный по глубине поток свой-

ства в единицу времени сквозь горизонтальный ограничивающий контур единичной длины.

Пространственная структура представленных потоков также существенно неоднородна. Обмен теплом и солью между глубоководной частью Чёрного моря и его периферией сосредоточен, главным образом, в области свала глубин, достигая значений $25 \text{ г} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ для соли и $10^5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1}$ для тепла. При этом поток соли направлен от периферийных областей внутрь глубоководной части моря, а тепла – наружу.

ИНЕРЦИОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ В ПРИСУТСТВИИ СДВИГОВОГО ТЕЧЕНИЯ

Сабинин К.Д.^{1,2,3}, Кортаев Г.К.⁴

¹НИИ «АЭРОКОСМОС», г. Москва, Россия

²АКИН, г. Москва, Россия

³ИКИ РАН, г. Москва, Россия

⁴ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия

ksabinin@yandex.ru

Ключевые слова: инерционные колебания, течения со сдвигом скорости, уравнения мелкой воды.

Инерционные колебания, наблюдающиеся в морях и океанах, демонстрируют разнообразные годографы скорости течений, отличающиеся от антициклонического кругового вращения, как это следует из простейшей модели. На основе анализа наблюдений, выполненных на шельфе Геленджика осенью 2009 г., можно предположить, что наблюдаемые искажения годографов инерционных течений являются следствием простой суперпозиции инерционных колебаний и фонового сдвигового течения. В настоящей работе строится нелинейная модель инерционных колебаний в присутствии сдвигового течения, основанная на точном решении уравнений мелкой воды. Из решения следует, что действительно происходит линейное сложение скоростей среднего течения и инерционного

колебания, определяющее вид годографа скорости течений и траекторий частиц жидкости. Таким образом, подтверждаются, выводы, следующие из анализа наблюдений.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗМЕНЕНИЯ СУДОХОДНОСТИ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ В УСЛОВИЯХ НАБЛЮДАЕМЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Соловьев Д.А.

ИО РАН, г. Москва, Россия

solovev@ocean.ru

Ключевые слова: моря Арктики, Севморпуть, ледовая обстановка, безопасность судоходства, изменения климата.

Северный морской путь (СМП) является важнейшей частью инфраструктуры экономического комплекса Арктической зоны РФ. Интенсивное освоение нефтяных и газовых месторождений на шельфе приведет к резкому росту объемов транспортировки по СМП. По данным многолетних наблюдений, до недавнего времени большая часть акватории арктических морей была покрыта льдом в течение всего года. Сложная ледовая обстановка ограничивала свободу мореплавания и создавала трудности при производстве работ на шельфе. Однако, в течение последних тридцати лет (1986 – 2015 гг.) наблюдается устойчивый тренд роста температуры во всех регионах Северной полярной области (СПО). В целом для СПО линейный рост среднегодовой температуры составил около 2,0°C за 30 лет. Если в XX веке продолжительность навигации по СМП составляла июль – сентябрь, то сейчас июнь – ноябрь (при этом в сентябре и октябре льда практически нет). На основе предложенной методики SWOT-анализа данных набора имеющихся прогностических моделей изменения климата Арктики и использования всех основных наблюдательных подходов к изменчивости климата, включая анализ долговременных рядов наблюдений, анализ исторических данных, включая палеоданные, анализ спутниковых

измерений, сделан обобщенный прогноз относительно увеличения времени эффективной судоходности СМП. На основе прогноза выполнена комплексная оценка сезонного изменения судоходности СМП с горизонтом планирования до 2030 г. и на отдаленную перспективу. Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки в рамках проекта №14.607.21.0023 «Построение концепции экспертной системы, основанной на наблюдательном модуле и блоке моделирования климата для прогнозирования изменений климата Арктики и судоходности Северного Морского Пути».

СЕКЦИЯ 3 «ДАННЫЕ НАТУРНЫХ И ДИСТАНЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ. СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ И ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ»

О ПУТЯХ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА В КОРОТКОВОЛНОВОМ ДИАПАЗОНЕ РАДИОВОЛН

Белов С.Ю.

*МГУ, г. Москва, Россия
Belov_Sergej@Mail.Ru*

Ключевые слова: дистанционное зондирование, рассеяние радиоволн поверхностью, методика измерения, КВ-диапазон.

В работе предложен новый некогерентный метод оценки параметра сигнал/шум. Выполнен сравнительный анализ и показано, что по аналитической (относительной) точности определения этого параметра новый метод на порядок превосходит широко используемый стандартный и одного порядка с известной когерентной методикой.

В работе рассматривается задача дистанционной диагностики «шероховатой» поверхности и диэлектрических подповерхностных структур в КВ диапазоне. Выбор КВ диапазона позволяет учитывать подповерхностный слой (толщины порядка длины волны падающего излучения). Оперативная и надёжная оценка этого параметра имеет общефизический интерес (радиофизика, геофизика, оптика и т.д.).

Исследован вопрос об оптимизации методик измерения этого параметра Beta_k с точки зрения допускаемых аналитических (относительных) погрешностей. Индекс $K = E, R_2, R_4$ – означает регистрируемый первичный параметр: квадратуру E или огибающую R и соответствующий метод (E – когерентный; R – некогерентный).

В работе представлены графики поведения аналитических (относительных) погрешностей для указанных методик в диапа-

зоне экспериментально наблюдаемых значений $Betta_k$. Показано, что $Eps \cdot E$ и $Eps \cdot R4$ одного порядка ($Eps \cdot R4 = 3/2 Eps \cdot E$) и существенно превосходят по точности измерения $Betta_k$ по стандартной R2-методике $Eps \cdot R2$.

В итоге, установлено, что достаточная аналитическая точность измерения этого параметра может быть достигнута и при использовании некогерентной аппаратуры с помощью новой методики R4.

КАНАЛЫ СВЯЗИ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЮ С АВТОМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ

Безгин А.А., Дыкман В.З., Лунев Е.Г., Толстошеев А.П.,
Юркевич Н.Ю.

ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
bezghinaa@gmail.com

Ключевые слова: спутниковая связь, *Argos*, *Iridium*, УКВ связь, проводная связь, беспилотный летальный аппарат, *HART*.

На сегодняшний день для обеспечения связью автоматических измерительных платформ в открытом океане наибольшее распространение получили спутниковые системы *Argos* и *Iridium*. Система *Argos* обеспечивает наибольший охват среди научных и прикладных приложений, где необходимо обеспечить максимальную продолжительность автономной работы при минимальных затратах энергии. В последнее десятилетие альтернативной системе *Argos* стала спутниковая система *Iridium*. Эта система обеспечивает высокую надежность и оперативность доставки данных пользователям при работе в самых сложных метеоусловиях.

Перспективным направлением является развитие систем мобильной радиосвязи с использованием стратосферных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В рамках этого направления создается единая информационная сетцентрическая си-

стема, в пределах которой БПЛА имеют возможность принимать информацию с измерительных платформ, обмениваться данными друг с другом, доставлять данные в наземные пункты приема.

Для сбора данных с локальных полигонов применяют мало-мощные приемо-передатчики УКВ-диапазона. При работе в шельфовых прибрежных зонах используются возможности наземных служб мобильной связи *GSM*.

Для обеспечения океанографических приборов проводной связью широкое распространение получил промышленный протокол *HART*, особенностью которого является использование аналоговой «токовой петли» для приёма-передачи информационных сигналов. В ряде случаев применяются оригинальные решения: примером может являться организация кабельной связи для построения измерительных цепочек различных датчиков (например, термопрофилемеров) с использованием однопроводной линии *1-Wire* по стандарту *MicroLAN*.

СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАЗВЕРТЫВАНИЯ ДРЕЙФУЮЩЕГО БУЯ С ПАРУСОМ С ДВИЖУЩЕГОСЯ СУДНА

Быков Е.М., Мотыжев С.В.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
marlin@marlin-yug.com*

Ключевые слова: мониторинг, дрейфующий буй, постановка на ходу судна, верхний слой океана, подповерхностные течения.

Одним из элементов глобальной наблюдательной сети являются поверхностные дрейфующие буи или дрейфтеры, предназначенные для контроля параметров деятельного слоя океана и приподной атмосферы. Для осуществления измерений по всей акватории Мирового океана необходимо обеспечить нахождение в среднем одного буя в квадрате 500×500 км. Однако, измерительная аппаратура, работающая в морских условиях, в силу

разных причин имеет ограниченный срок существования. Для поддержания плотности наблюдений дрейфтеры запускаются с попутных судов при любых метеоусловиях на скорости движения судна до 23 узлов, и высоте сброса до 15 м. Для этого должны быть созданы специальные буи, не требующие подготовительных работ перед запуском. Достаточно вынуть прибор из транспортного ящика и выбросить за борт. Все процедуры для ввода буя в эксплуатацию происходят автоматически.

В докладе представлены способ и техническое решение дрейфтера, обеспечивающие автоматическое развертывание после сброса с движущегося судна. Предложенный способ подводного развертывания буя, а также другие существенные признаки позволят снизить количества отказов, вызванных повреждением дрейфтера при запуске и увеличить продолжительность его полноценной работы.

**О ЛЕДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ АРАЛЬСКОГО МОРЯ,
ВЫЯВЛЕННОЙ ПРИ АНАЛИЗЕ СНИМКОВ,
ПОЛУЧЕННЫХ СО СПУТНИКОВ *AQUA/TERRA*
СКАНИРУЮЩИМ РАДИОМЕТРОМ *MODIS*
В 2008 – 2016 ГГ.**

Кузьмичёва Т.Ф.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
TFK12.93@yandex.ru*

Ключевые слова: спутники *AQUA/TERRA*, Аральское море, спутниковые снимки, лёд.

Аральское море расположено на самой южной границе территории северного полушария, покрываемой снегом и льдами. Вследствие такого крайнего расположения данные о ледовой изменчивости в этом море могут служить ранним индикатором крупномасштабной изменчивости климата, его потепления или похолодания. В настоящей работе анализируются снимки, полученные в 2008 – 2016 гг. со спутников *AQUA/TERRA* сканером

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer – сканирующий спектрорадиометр среднего разрешения). Отслеживается момент первого появления льда, момент максимального покрытия льдом и день, когда лёд полностью растаял, для каждого из этих лет. Строятся таблицы, которые сравниваются с таблицами, полученными в условно-естественный период (до 1960-го года, 50 лет назад), когда Аральское море было изучено очень хорошо.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АРГО-МОДЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО ОКЕАНА (АМИГО) ДЛЯ АНАЛИЗА ИЗМЕНЧИВОСТИ МИРОВОГО ОКЕАНА В 2005 – 2015 ГГ.

Лебедев К.В.

*ИО РАН, г. Москва, Россия
KLebedev@ocean.ru*

Ключевые слова: моделирование, циркуляция, течения, климат, Argo.

С 2005 г. измерения с помощью поплавков Argo стали вести на большей части акватории Мирового океана. Постоянно пополняющиеся массивы измерений позволяют решать задачи реконструкции и мониторинга состояния океана в режиме, близком к реальному времени, и исследовать особенности океанской динамики и ее изменчивости. Количество профилей, накопленных в рамках программы Argo за период с 2001 по 2015 г., превысило 1 млн. Это позволяет получить разумные оценки климатического состояния Мирового океана для последнего десятилетия и дать оценку текущим внутриклиматическим трендам.

Используемая в работе Арго-модель исследования глобального океана (АМИГО) состоит из блока вариационной интерполяции на регулярную сетку данных профилирования дрейфующих измерителей Argo и блока модельной гидродинамической адаптации вариационно проинтерполированных полей. Такая методика позволяет получать по нерегулярно расположенным

данным измерений Argo полный набор океанографических характеристик: температуру, соленость, плотность и скорость течений. Выполненные расчеты представлены ежемесячными, сезонными, годовыми и среднеклиматическими полями. Созданная по результатам проведенных модельных расчетов в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН база океанографических данных АМИГО (<http://argo.ocean.ru/>, Лебедев, 2016) охватывает период с 2005 по 2015 год.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-50-00095.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПЕРЕНОСОВ МАССЫ И ТЕПЛА В ПРОЛИВЕ ДРЕЙКА В 2005 – 2015 ГГ. ПО ДАННЫМ АРГО И ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Лебедев К.В., Курносова М.О., Тараканов Р.Ю.

*ИО РАН, г. Москва, Россия
KLebedev@ocean.ru*

Ключевые слова: моделирование, циркуляция, изменчивость, Антарктическое циркумполярное течение, пролив Дрейка, Argo.

Исследование изменчивости Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) проведено на основе модельных расчетов с использованием разработанной в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН Argo-модели исследования глобального океана (АМИГО). Модель состоит из блока вариационной интерполяции на регулярную сетку данных профилирования Argo и блока модельной гидродинамической адаптации вариационно проинтерполированных полей. Такая методика позволяет получать по нерегулярно расположенным данным измерений Argo полный набор океанографических характеристик: температуру, соленость, плотность и скорость течений.

Анализ полученных результатов показал, что предложенная методика модельных адаптационных расчетов океанографиче-

ских характеристик Южного океана с использованием данных Argo позволяет существенно повысить детализацию и реалистичность получаемых полей температуры, солености и течений. Используемая методика позволяет восстановить трехмерное поле скорости как для районов, обеспеченных наблюдениями, так и в прибрежной области, где данные Argo практически отсутствуют.

Расчеты выполнены для двух вариантов вертикального разрешения сетки: 32 стандартных горизонта и 103 расширенных. Использование более грубой вертикальной сетки ведет к росту расхода АЦТ на 10%.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-17-10149.

МНОГОЦЕЛЕВОЙ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Семёнов В.В., Мязин В.В., Копытина Н.В.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
tuactualemal@pochtarus.ru*

Ключевые слова: спектрометр, буй, станция, измерение, установка, субстанция.

Прототипом базового спектрометра на современном микроконтроллере изначально являлся амплитудно-импульсный гамма-спектроанализатор отечественной разработки АИ–1024 (1024 канала) 1992 г. выпуска. Спектроанализатор 1-го поколения был собран на микроконтроллере 2005 г. выпуска и проработал 5 лет круглыми сутками непрерывно без единого сбоя. Поначалу мы сохранили входные и выходные параметры старого спектроанализатора в новом. Основным отличием стала принципиально новая схема обработки сигналов на качественно новой элементной базе, работающей на порядок более высоких частотах. В результате масса, объем и энергозатратность уменьшилась в 100 раз, а себестоимость – в 1000 раз. В настоящее время с 2010 г. вот уже 6 лет работает 2-е модернизированное поколение

спектроанализатора, также круглыми сутками, непрерывно без единого сбоя, на базовой спектрометрической установке. Последние 3 месяца работает 2-й спектроанализатор нашей разработки 3-го поколения, установленный непосредственно в нами же разработанную аспирационную установку, работающую непрерывно круглыми сутками вот уже 11 лет. Сейчас мы имеем возможность 1 раз в сутки передавать в интернет в автоматическом режиме спектр изотопного состава приземной атмосферы г. Севастополя, как качественно, так и количественно, на 1 м³ воздуха. В настоящее время идет процесс создания спектрометра 4-го поколения, уже на 2048 каналов, способных синхронизироваться между собой, и в полностью автономном режиме сортировать сигналы и автоматически их передавать по каналам связи. При этом в зависимости от установленных датчиков это могут быть и спектры акустики, и спектры волн, и спектры ветра и т.д. Естественно, между датчиком и спектрометром устанавливаются соответствующие драйверы. При наладке мелкосерийного выпуска спектрометров их можно будет объёмно устанавливать в любую субстанцию: океан, атмосфера, скважины в твёрдых горных породах, и т.д., например, в донные, якорные и дрейфующие буи, метеорологические шары зонды и т.д.

СЕКЦИЯ 4 «ОПЕРАТИВНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ. МЕТОДЫ АССИМИЛЯЦИИ»

БИО-РЕАНАЛИЗ ПОЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ ЗА 15 ЛЕТНИЙ ПЕРИОД (1998 – 2012)

Дорофеев В.Л., Сухих Л.И.

ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
dorofeyev_viktor@mail.ru

Ключевые слова: реанализ, морская экосистема, моделирование, ассимиляция данных.

В работе представлены результаты моделирования динамики экосистемы Черного моря с помощью трехмерной междисциплинарной модели. Важной особенностью моделирования является ассимиляция данных измерений, получаемых со спутниковых цветковых сканеров. Расчет проводится на срок пятнадцать лет с 1998 года. В результате расчетов был получен набор трехмерных био-геохимических полей Черного моря на регулярной сетке с дискретностью по времени в одни сутки. В работе проводится анализ полученных результатов.

Результаты выполненного анализа выявили межгодовые изменения в верхнем слое Черного моря. Биомассы фитопланктона и зоопланктона имели отрицательный линейный тренд, который сопровождался также тенденцией уменьшения содержания нитратов в этом слое. Анализ климатического распределения основных параметров экосистемы показал, что полученные результаты качественно правильно описывают их сезонный ход и пространственное распределение.

Качество полученных полей оценивается путем сравнения с имеющимися данными *in-situ* измерений. Для этого было проведено сопоставление полученных полей с доступными данными измерений концентраций кислорода, нитратов и хлорофилла-*a*. Это сравнение показало, что полученные в результате моделирования параметры экосистемы Черного моря не только каче-

ственно, но и количественно согласуются с имеющимися данными измерений. Наибольшее несоответствие результатов моделирования измерениям наблюдается на шельфе, что, по видимому, связано с недостаточной точностью задаваемых потоков нитратов в местах втока рек. В глубоководной части моря наибольшие ошибки наблюдаются на горизонтах, на которых расположены максимумы градиентов соответствующих параметров.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИНТЕГРАЦИИ МОДЕЛЕЙ В ГИС «ЧЁРНОЕ МОРЕ»

Жук Е.В., Халиулин А.Х., Ингеров А.В., Zodiatis George

ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
alenixx@gmail.com

Ключевые слова: геоинформационная система, программные модели, банк океанографических данных.

При создании ГИС Черного моря акцент делался на выборе свободно распространяемого и платформонезависимого ПО, которое могло бы обеспечить требуемую функциональность.

ГИС включает в себя следующие данные.

– Океанографические данные, хранящиеся в Банке океанографических данных МГИ.

– Спутниковые данные, поступающие из Отдела дистанционных методов исследований МГИ. Они представлены получаемыми со спутника MODIS AQUA изображениями в формате *GeoTiff*.

– Климатический атлас, состоящий из следующих разделов: «Температура морской воды», «Солёность», «Плотность», «Теплозапас», «Концентрация кислорода в морской воде», «Положение нижней границы аэробных вод», «Положение верхней границы сероводородной зоны». Всего атлас включает более 400 карт в форматах *jpeg* и *shape*.

В соответствии с основными типами данных разработана модульная структура ГИС – каждому типу данных соответствует

свой модуль, позволяющий осуществлять выборку и визуализацию этих данных, а также наложение слоев с разными типами данных.

В настоящее время разрабатывается дополнение ГИС банком моделей и пользовательскими моделями – программами, запускаемые на машине пользователя, но получающие и отображающие данные через ГИС.

В качестве примера встроенных программных моделей используется программа, написанная для описания двумерного распространения цунами в бассейне переменной глубины на базе линейной модели длинных поверхностных волн, что оправдано при глубинах более 5 м и программа MEDSLIK прогноза распространения нефтяных загрязнений, разработанная в Океанографическом центре Кипра.

ПАКЕТ ПРОГРАММ «CALSMAN». ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Иванчик А.М., Иванчик М.В.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
antonishka@gmail.com*

Ключевые слова: управление информационно-вычислительными процессами, автоматизация, морские мониторинговые системы.

Для решения задач оперативной океанографии, связанных с выполнением морских прогнозов, разрабатываются автоматизированные морские мониторинговые системы. Они имеют сложную архитектуру, включающую сбор необходимой входной информации, выполнение прогнозов и отображение их результатов. Сбор исходных данных осуществляется из разных источников, использующих различные протоколы передачи данных. Для осуществления прогноза используется большое количество тематических моделей морской среды.

Разработка морских мониторинговых систем может быть выполнена на основе существующих стандартных средств. Часть из них достаточно проста, но при этом не позволяет решить все необходимые задачи. Другие средства предоставляют возможность решения всех задач, но при этом сложны, и требуют больших затрат времени на разработку любой мониторинговой системы.

Именно для решения задачи построения морских мониторинговых систем и дальнейшей их эксплуатации создан комплекс компьютерных программ «CalcMan». Он оптимизирован для управления морскими мониторинговыми системами, прост для изучения и использования при разработке систем. Не требует изучения больших объемов информации. Имеет в своем составе все необходимые средства, в том числе средства для контроля разработки и дальнейшей эксплуатации систем.

С помощью пакета программ «CalcMan» созданы автоматические системы сбора данных, вычислений и валидации в проектах «MyOcean1», «MyOcean2», «Экспериментальный центр морских прогнозов». В процессе эксплуатации пакет программ показал высокую надежность, удобство применения, эффективность.

АЛГОРИТМ АССИМИЛЯЦИИ В МОДЕЛИ ТРЕХМЕРНЫХ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕННОСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ В УСЛОВИЯХ, ИМИТИРУЮЩИХ ОПЕРАТИВНЫЙ РЕЖИМ ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА

Лишаев П.Н.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
pavellish@mail.ru*

Ключевые слова: трехмерные поля, Черное море, температура и соленость, ассимиляция, альтиметрия, буи Argo, оперативный режим.

Предложен и реализован алгоритм ассимиляции трехмерных полей температуры и солености в модели циркуляции Черного

моря в условиях, имитирующих оперативный режим диагноза и прогноза гидрофизических полей. Ежесуточные поля, усваиваемые в модели, были подготовлены с учетом известного альтиметрического уровня моря и измерений с буев-профиломеров Argo за период 2012 – 2013 гг. Проведенные расчеты показали, что синоптические структуры в полях уровня и скоростей течений качественно воспроизводятся хорошо. Статистические характеристики точности восстановленных полей температуры и солёности показали следующее. В слое 0 – 100 м среднеквадратические отклонения между модельной и наблюдаемой температурами больше естественной изменчивости полей. Среднеквадратические отклонения солёности больше ее естественной изменчивости в слое 45 – 75 м, характеризующемся наличием холодного промежуточного слоя. Полученные результаты показывают, что предложенный алгоритм может быть эффективно применен в оперативной системе диагноза и прогноза гидрофизических полей Черного моря.

ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ SWAN ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА СТАЦИОНАРНОЙ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЕ ЧГП РАН

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

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
liham1984@rambler.ru*

Ключевые слова: SWAN, MERRA, высоты волн, скорость ветра, СКО, коэффициент корреляции, Черное море, Южный берег Крыма, СОП, натурные измерения.

В работе путем сравнения модельных и натуральных данных в районе океанографической платформы проведена верификация волновой модели SWAN. Анализировались 6 промежутков времени, соответствующих случаям с сильным штормовым волнением: 1 – 16 декабря 2012 г., 5 – 15 марта 2013 г., 21 – 30 января 2014 г., 5 – 15 марта 2014 г., 20 – 30 ноября 2014 г. и с 1 по

11 января 2015 г. В качестве форсинга использовались поля ветра из реанализа MERRA за вышеуказанные промежутки времени.

Показано, что в целом наблюдается удовлетворительное соответствие высот значительных волн, рассчитанных по модели SWAN, с данными натурных наблюдений на океанографической платформе. Выявленные несоответствия между реальными и модельными данными, как по высотам волн, так и по скоростям ветра, вызваны в основном влиянием на прибрежные поля ветра региональных особенностей горного рельефа береговой части Крымского полуострова. Сделан вывод о пригодности волновой модели SWAN для расчетов ветрового волнения в прибрежной зоне Крымского полуострова при условии наличия для исследуемого района метеорологического прогноза с высоким пространственным разрешением.

КОМПЬЮТЕРНАЯ СЕТЬ ИНСТИТУТА – РАЗВИТИЕ, РАЗДЕЛЕНИЕ РЕСУРСОВ, ЗАЩИТА

Цыганов В.А., Мартынов М.В., Инюшина Н.В

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
acs_group@mail.ru*

Ключевые слова: компьютерная сеть, ресурсы сети, сервер.

Компьютерная сеть института должна гарантировать развитие и поддержание единой информационной среды, обеспечивающей научную деятельность института, что предполагает надежный, защищенный доступ на достаточной скорости к общим ресурсам информационной сети.

I. Общие ресурсы сети института. Общие ресурсы предоставляются серверами.

1 Основной общий ресурс – доступ к сети Интернет. Обеспечивается тремя серверами (шлюзами) Ideco по трем каналам всем сотрудникам. Шлюзы Ideco защищают компьютерную сеть института от вторжений из Интернет и

ограничивают доступ пользователей к запрещенному контенту (сайтам, запрещенным Роскомнадзором в РФ и политикой обеспечения информационной безопасности научно-технической деятельности института).

2 Вычислительные сервера для параллельных вычислений.

3 Сервера для совместного использования ПО (частный случай – сервера лицензий).

4 Сервера доступа из Интернет к информации, предоставляемой институтом внешним пользователям (сервера дата-центра).

5 Файловые сервера для обмена и хранения данных внутренними пользователями.

II. Скорость и надежность доступа к ресурсам. Часть пользователей (~ 30%) работает на Gigabit Ethernet. К концу года планируем перевести всех на Gigabit Ethernet и внедрить на некоторых загруженных участках до 10 Gigabit Ethernet. Кроме этого, на отдельных сегментах сети внедрено объединение физических каналов передачи в один логический, что обеспечивает резервирование в канале и позволяет расширить скорость передачи до 400 ГГб/с.

III. Защита ресурсов в локальной сети. Доступ к серверам должны получать только те пользователи, которым эти сервера необходимы. Для защиты сети от внутренних угроз (вредоносного программного обеспечения), кроме деления на виртуальные локальные сети по задачам, предусмотрен еще и контроль протоколов обмена данными по сети (на уровне оборудования сети и на уровне персональных сетевых экранов).

СЕКЦИЯ 5 «КОМПЛЕКСНЫЕ МОДЕЛИ И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ПРОЦЕССЫ»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА СОПРЯЖЕННЫХ УРАВНЕНИЙ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В АЗОВСКОМ МОРЕ

Кочергин В.С., Кочергин С.В.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
ko4ep@mail.ru*

Ключевые слова: решение сопряженной задачи, функции влияния, идентификация мощности источника, концентрация взвешенного вещества, Азовское море.

Совместное использование спутниковых данных и моделей переноса пассивной примеси представляет интерес для определения источников поступления взвешенного вещества. Рассматривается модель переноса пассивной примеси в Азовском море. На её основе реализован метод сопряженных уравнений для построения функций влияния источников загрязнения акватории Азовского моря. На тестовом примере показана работоспособность вариационного алгоритма идентификации, произведено сравнение численного моделирования с последовательными спутниковыми изображениями сканера MODIS.

При изучении динамики распространения примесей необходимо использование математических моделей и методов усвоения данных измерений, которые позволяют идентифицировать входные параметры. Решение соответствующих сопряженных задач являются функциями влияния тех или иных параметров на некоторые интегральные характеристики поля концентрации. Поэтому их построение и анализ представляет определенный интерес с точки зрения идентификации возможных источников загрязнений. Проведенные численные эксперименты показали надежную работу вариационного алгоритма идентификации входных параметров численного моделирования. Задача иден-

тификации местоположения источника, реализованная на основе решения сопряженной задачи, дала хорошее соответствие спутниковым данным. В дальнейшем подход может быть использован при ассимиляции реальных данных о концентрации взвешенного вещества, определяемого по спутниковым снимкам для идентификации возможных источников загрязнения и параметризации динамических процессов переноса примесей различной природы.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В ЧЕРНОМ МОРЕ МЕТОДАМИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ БЕРИЛЛИЯ-7 (${}^7\text{Be}$)

**Кременчуцкий Д.А., Дымова О.А., Батраков Г.Ф.,
Коновалов С.К.**

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
d.kremenchutsky@gmail.com*

Ключевые слова: бериллий-7, Черное море, поверхностный слой, концентрация, пространственно-временная изменчивость.

Численное моделирование представляет собой удобный инструмент, позволяющий изучать закономерности формирования и эволюции полей концентрации различных примесей в морской воде. Модели переноса радионуклидов традиционно представляют большой интерес и используются, в частности, для оценки состояния и прогнозирования изменений в исследуемой экосистеме. Одним из таких радионуклидов является бериллий-7 ($T_{1/2} = 53,3$ суток).

Цель работы – выявить особенности пространственно-временной изменчивости поля концентрации ${}^7\text{Be}$ в поверхностном слое вод Черного моря.

Трехмерная нелинейная термогидродинамическая модель МГИ, дополненная блоком расчета концентрации пассивной примеси, была использована для исследования распределения и

трансформации поля концентрации ${}^7\text{Be}$ в поверхностном слое вод Черного моря за период с января по декабрь 2012 г. Валидация результатов численных экспериментов была выполнена с использованием данных натуральных наблюдений, полученных на океанографической платформе в пгт. Кацивели (Крым, Россия). По результатам численных экспериментов было получено, что минимальные величины общего содержания радионуклида в поверхностном слое вод моря наблюдаются в летний период в западной части моря, максимальные – в весенний период в восточной части. Пространственно-временная изменчивость поля концентрации ${}^7\text{Be}$ на взвеси подобна распределению общего содержания радионуклида. Максимальные величины относительного содержания ${}^7\text{Be}$ на взвеси наблюдались в приустьевых районах во все сезоны года и в центральной части моря в летний период.

КАРТИРОВАНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ЧЕРНОГО МОРЯ МЕТОДОМ АДАПТИВНОГО БАЛАНСА ВЛИЯНИЙ

Лазарчук И.П.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
lazarchuk.syst.analysis@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: метод адаптивного баланса влияний, ABC-метод, Черное море, адаптивные модели, морская экосистема.

Рассматривается простая модель экосистемы верхнего слоя Черного моря, в которой в качестве основных биологохимических характеристик экосистемы выбраны интегральные оценки концентраций фитопланктона, зоопланктона, биоресурса и кислорода. Кроме того, на состояние экосистемы влияют внешние условия: сезонный ход температуры воды и изменения концентраций хлорофилла *a*. Методом адаптивного баланса влияний (ABC-методом) построена система уравнений модели экосисте-

мы, обладающих свойством динамического приспособления к переменным внешним влияниям.

На примере такой модели экосистемы проиллюстрирован двухэтапный метод моделирования процессов в морских экосистемах с применением адаптивных моделей, в котором на первом этапе по современной численной модели рассчитывается динамика водных масс, а на втором – по модели экосистемы производится локальная подстройка переменных экосистемы друг к другу с учетом имеющихся оценок переноса и диффузии веществ. При таком моделировании рассчитываемые по гидродинамической модели перенос и диффузия становятся внешними влияниями по отношению к процессам, происходящим в локальном объеме среды.

Построены карты внутригодовой пространственно-временной изменчивости полей концентраций фито- и зоопланктона, кислорода, биоресурса в верхнем слое Черного моря. Показано, что учет динамики морской среды в адаптивной модели экосистемы позволяют детализировать карты биохимических полей.

АКУСТИКА МОРСКИХ ОСАДКОВ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

**Лисютин В.А., Ярошенко А.А., Ластовенко О.Р.,
Маленко Ж.В.**

*СевГУ, г. Севастополь, Россия,
vlisiutin@mail.ru*

Ключевые слова: неконсолидированные осадки, фазовая скорость, коэффициент затухания, Био-Столла теория, межгранулярное трение.

Пространственная и временная структура звукового поля в мелком море в основном определяется нижней границей волновода – слоистым дном. Донный слой, граничащий с водным, сложен неконсолидированными осадками – смесью песка, ила,

гравия. В такой среде распространяются упругие волны двух типов – продольная и поперечная. Акустическими характеристиками этих волн являются фазовые скорости, коэффициенты затухания и их частотные зависимости.

Рассматриваются и сопоставляются основные положения и результаты двух наиболее известных в настоящее время теорий распространения звука в морских осадках – расширенной теории Био-Столла (EB, BICSQS, BIMGS) и VGS теории М. Букингема. Показывается, что неконсолидированные осадки вследствие повышенной мягкости контактирующих поверхностей являются нелинейной средой, и учет нелинейности является принципиально важным для построения адекватной теории распространения звука. Обсуждается проблема «амплитудозависимого» затухания.

Формулируются основные положения о водонасыщенной неконсолидированной среде, сочетающие некоторые положения теории Био (относительное движение флюида) и положения VGS теории (концепция «деформационного упрочнения» – нелинейный элемент).

На основе перечисленных положений предлагается развитие теории распространения звука в морских осадках, сочетающее достоинства теории Био-Столла и VGS теории М. Букингема. Показывается, что предложенная теория позволяет получить лучшее соответствие с экспериментальными данными.

Показывается возможность развития теории распространения звука в морских осадках, основанная на волновом уравнении с дробными производными.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ЧЕРНОМ МОРЕ

Лубков А.С.

*ИПТС, г. Севастополь, Россия
andrey-ls2015@yandex.ru*

Ключевые слова: прозрачность, температура, соленость, фитопланктон, нейронные сети, восстановление.

Для восстановления пропущенных значений гидрофизических характеристик была адаптирована модель однонаправленной гетероассоциативной однослойной (один скрытый слой) нейронной сети (НС) с учителем. Нейроны представлены сигмоидальной биполярной функцией: $f(x) = \tanh(\beta x)$ (Осовский, 2002). В работах (Кукушкин, 2010, 2013) было показано влияние крупномасштабных процессов системы океан-атмосфера на межгодовые сезонные изменения гидрофизических характеристик в Черном море, поэтому, в качестве входных параметров был использован набор индексов дальнедействующих сигналов (Barnston and Livezey, 1987). Выходной слой представлен одним нейроном, который сравнивался с моделируемой величиной. Обучения модели проводилось на основе алгоритма обратного распространения ошибки. Адаптация модели включала три стадии: предварительная обработка, моделирование и заключительная обработка результатов (Лубков, 2016).

На этапе предварительной обработки данных выполняется поиск связей между значениями индексов дальнедействующих сигналов и исследуемого параметра. Для этого рассчитывалась его корреляция со значениями индексов сигналов, наблюдаемых в предшествующие месяцы текущего и предыдущего года.

Моделирование. Модель запускалась многократно, с использованием на входе всех возможных комбинаций, выбранных на предварительном этапе индексов. Для каждой выборки входных сигналов были рассчитаны конструкции модели с разным количеством нейронов скрытого слоя. Результат заносился в лог-файл.

На заключительном этапе экспертным путем отбиралась наилучшая из нескольких конструкций модели НС, выбранных фильтром программы.

ГЕОГРАФО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И МОНИТОРИНГ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ СЕВАСТОПОЛЯ И СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ ЗОНЫ С УЧЁТОМ ФИЛЬТРАТА ТБО И НЕГАТИВНЫХ И ПОЗИТИВНЫХ ПРИМЕРОВ ДРУГИХ ОБЛАСТЕЙ РОССИИ И МИРА С ПОДСЧЁТОМ УБЫТКОВ И ПРИБЫЛИ

Семёнов В.В., Георга-Копулос А.А.

*ФБГУН МГИ, г. Севастополь, Россия
evpator-gk@yandex.ru*

Ключевые слова: водоснабжение, канализация, фильтрат, источник, скважина, водохранилище.

Водоснабжение Севастополя и Севастопольской зоны можно разделить на локальное и централизованное. К локальному водоснабжению можно отнести родники, колодцы и скважины, находящиеся на территориях личных подворий, садовых товариществ, частных и государственных промышленных и сельскохозяйственных предприятий, фермерских хозяйств и воинских частей. К особой категории источников водопользования можно отнести законсервированные стратегические скважины.

Существуют так же гидротермальные, минеральные, в том числе и бальнеологические источники. Есть и субмаринные водопоявления, которые в принципе нельзя использовать для нужд водоснабжения, так как в зоны субмариной разгрузки вод, в том числе и комбинированного генезиса, приходит распределяться и нереститься рыба, среди которой много ценных, редких промысловых пород.

Централизованное, сетевое водоснабжение Севастополя и Севастопольской зоны в основном питается из Чернореченского

водозабора. Питается водозабор через естественный водовод – речку Чёрную, вытекающую из Чернореченского водохранилища комбинированного питания, находящегося в Байдарской долине. Часть воды из Чернореченского водохранилища по трубопроводам подаётся на ЮБК, что весьма нецелесообразно, так как на ЮБК хватает своей природной воды, многие водозаборные каптажи были заброшены после создания Ялтинского гидротуннеля. Также нельзя перебрасывать воду из речки Кокозка в Байдарскую долину, потому что северо-западная Севастопольской зоны останется без воды.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННОГО МЕТОДА В КАЛИБРОВКЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Слепчук К.А., Хмара Т.В.

*ФГБУН МГИ, г. Севастополь, Россия
skira@mhi-ras.ru, xmara@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: биогеохимическое моделирование, биогенные элементы, методы оптимизации, метод Хука-Дживса.

На начальном этапе моделирования функционирования шельфовых экосистем берется упрощенный вариант модели, который отражает изменчивость наиболее значимых компонент экосистемы. Такие модели легче поддаются калибровке и верификации, а получаемые с их помощью результаты могут быть однозначно проинтерпретированы с точки зрения изучения причинно-следственных связей.

Задача заключается в отработке методов калибровки параметров модели, включая сбор необходимой для этого исходной информации, и приемов использования модели для получения практически значимых результатов. Описывается использование одномерного варианта модели качества вод для прогноза динамики фитопланктона и биогенных элементов поверхностных вод акватории Севастопольской бухты. Данные, полученные в процессе вычислительного эксперимента, сопоставляются с

натурными данными, осредненными за 2001 – 2005 гг. В связи с достаточно большими несоответствиями данных, рассчитанных по модели, и натуральных данных применяется оптимизационный метод Хука-Дживса. Это метод прямого поиска минимума функционала, состоящий из последовательности шагов исследующего поиска вокруг базисной точки, за которой в случае успеха следует поиск по образцу. В уравнения блока эвтрофикации модели включены параметры (удельные скорости химико-биологических процессов) и коэффициенты в эмпирических уравнениях, описывающих изменчивость значений этих параметров в зависимости от характеристик среды и внешних факторов. Далее, варьируя эти параметры в рамках возможного диапазона их изменчивости, проводится попытка достижения максимального соответствия модельных результатов и данных наблюдений, используя минимизацию суммы квадратов отклонений данных, рассчитанных по модели, и натуральных данных. Установленные при калибровке значения параметров биогеохимического блока могут быть использованы в качестве исходных при использовании трехмерного варианта модели эвтрофикации вод бухты.

ПЕРЕЧЕНЬ ОРГАНИЗАЦИЙ

1. **ААНИИ** – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт», г. Санкт-Петербург.
2. **АКИН** – Акционерное общество «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева», г. Москва.
3. **АО ИО РАН** – Атлантическое отделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук», г. Калининград.
4. **ВНИИГМИ – МЦД** – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных», г. Обнинск.
5. **ГИДРОМЕТЦЕНТР РОССИИ** – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации», г. Москва.
6. **ГОИН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова», г. Москва.
7. **ИАЗ ЮНЦ РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт аридных зон Южного научного центра Российской академии наук», г. Ростов-на-Дону.
8. **ИБРАЭ РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук», г. Москва.

9. **ИВиСДВО РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук», г. Петропавловск-Камчатский.
10. **ИВМ РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт вычислительной математики Российской академии наук», г. Москва.
11. **ИВМиМГ СО РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук», г. Новосибирск.
12. **ИВПС КарНЦ РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук», г. Петрозаводск.
13. **ИВТ СО РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук», г. Новосибирск.
14. **ИГиЛ РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук», г. Новосибирск.
15. **ИЗМИ РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук», г. Троицк.
16. **ИКИ РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт космических исследований Российской академии наук», г. Москва.
17. **ИОА СО РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук», г. Томск.

18. **ИО РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук», г. Москва.
19. **ИО ПАН** – Институт океанологии Польской Академии наук, г. Сопот, Польша.
20. **ИНОЗ РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт озероведения Российской академии наук», г. Санкт-Петербург.
21. **ИПТС** – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт природно-технических систем», г. Севастополь.
22. **ИПМ РАН** – Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», г. Москва.
23. **ИПФ РАН** – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», г. Нижний Новгород.
24. **ИТП РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук», г. Москва.
25. **ИФЗ РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук», г. Москва.
26. **ИФА РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук», г. Москва.
27. **МГУ** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», г. Москва.

28. **ММБИ КНЦ РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра Российской академии наук», г. Мурманск.
29. **Морской институт в Гданьске**, г. Гданьск, Польша.
30. **МФТИ** – Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)», г. Долгопрудный.
31. **НИИ «АЭРОКОСМОС»** – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга "АЭРОКОСМОС" Министерства образования и науки Российской Федерации под научно-методическим руководством Российской академии наук», г. Москва.
32. **РГГМУ** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург.
33. **РОСГИДРОМЕТ** – Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, г. Москва.
34. **РФФИ** – Российский Фонд Фундаментальных Исследований, г. Москва.
35. **СевГУ** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение Высшего образования «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.
36. **СОФАГ ОНЗ РАН** – Секция океанологии, физики атмосферы и географии Отделения наук о Земле Российской академии наук, г. Москва.
37. **СПбФ ИО РАН** – Санкт-Петербургский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук», г. Санкт-Петербург.

38. **ТОИ ДВО РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук», г. Владивосток.
39. **Университет Мэрилэнда, Колледж Парк, США.**
40. **ФГБУН ИМБИ** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь.
41. **ФГБУН МГИ** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Морской гидрофизический институт РАН», г. Севастополь.
42. **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.
43. **ЮНЦ** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Южный научный центр Российской академии наук», г. Ростов-на-Дону.
44. **ЮО ИО РАН** – Южное отделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук», г. Геленджик.
45. **ЮФУ** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону.
46. **ЧГП РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Черноморский гидрофизический полигон РАН», пгт. Кацивели.
47. **ENS de Lyon** – Высшая нормальная школа Лиона, г. Лион, Франция.
48. **IFREMER** – Институт изучения и освоения моря, г. Брест, Франция.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

1.	Алексеев Д.В.	139
2.	Архишкин В.С.	141
3.	Бабий В.И.	142
4.	Бабий М.В.	62, 142
5.	Багаев А.В.	42, 74, 129
6.	Базыкина А.Ю.	47
7.	Барабанов В.С.	65
8.	Батраков Г.Ф.	171
9.	Баянкина Т.М.	56, 73, 85, 114
10.	Безгин А.А.	82, 83, 156
11.	Бейзель С.А.	48
12.	Белов С.Ю.	155
13.	Белокопытов В.Н.	74, 119
14.	Беляев Н.А.	102
15.	Бердников С.В.	148
16.	Благодатских Д.В.	127
17.	Бондур В.Г.	21, 94, 95, 96, 118
18.	Брузе К.	135
19.	Будянский М.В.	41
20.	Букатов А.А.	62
21.	Букатов А.Е.	62, 126
22.	Буланов В.А.	90
23.	Быков Е.М.	82, 83, 84, 157
24.	Васечкина Е.Ф.	104
25.	Вильфанд Р.М.	25, 107
26.	Воликов М.С.	84, 89
27.	Воробьев В.Е.	94
28.	Воронцов А.В.	116
29.	Воротников Д.И.	136
30.	Гармашов А.В.	143, 167
31.	Георга-Копулос А.А.	122, 176
32.	Годин Е.А.	119
33.	Головизнин В.М.	45
34.	Горячкин Ю.Н.	118, 144

35.	Гранкина Т.Б.	110
36.	Григорьев А.В.	116
37.	Гродский С.А.	88
38.	Громов И.В.	108
39.	Гусев А.В.	39
40.	Гусяков В.К.	46, 48
41.	Демьшев С.Г.	34, 40, 42, 117, 133
42.	Дерюшкин Д.В.	87
43.	Дзама Д.В.	127, 128
44.	Дианский Н.А.	36, 39
45.	Дмитриева Е.В.	63
46.	Довгая С.В.	133
47.	Доксуа Т.	135
48.	Дорофеев В.Л.	111, 163
49.	Доценко С.Ф.	47
50.	Дубина В.А.	41
51.	Дулов В.А.	96, 97, 118
52.	Дыкман В.З.	89, 156
53.	Дымова О.А.	40, 171
54.	Дьяконов К.Н.	131
55.	Евстигнеева Н.А.	117
56.	Елизарова Т.Г.	49
57.	Ерманюк Е.В.	135
58.	Ефимов В.В.	53, 65, 147, 150
59.	Ефимова Т.В.	100
60.	Жук Е.В.	164
61.	Завьялов Д.Д.	126
62.	Залесный В.Б.	134
63.	Замшин В.В.	94, 95
64.	Зацепин А.Г.	80, 115, 116
65.	Зеленько А.А.	107
66.	Зима В.В.	87
67.	Зимин А.В.	67
68.	Зубкова Е.В.	93
69.	Ибраев Р.А.	32, 37, 108, 110, 113
70.	Иванов В.А.	118 134
71.	Иванов В.В.	60
72.	Иванча Е.В.	139

73.	Иванчик А.М.	106, 109, 165
74.	Иванчик М.В.	106, 109, 165
75.	Ивонин Д.В.	81
76.	Игумнова Е.М.	123
77.	Ингеров А.В.	47, 119, 164
78.	Инжебейкин Ю.И.	75, 145
79.	Инюшина Н.В.	168
80.	Кабанов Д.М.	101
81.	Калинская Д.В.	101, 102
82.	Калмыков В.В.	37
83.	Капустин И.А.	102
84.	Карнаухов А.А.	63
85.	Кауркин М.Н.	113
86.	Киктёв Д.Б.	25
87.	Кныш В.В.	31
88.	Козлов И.Е.	93, 97
89.	Комаровская О.И.	147
90.	Кондратьев С.И.	118
91.	Коновалов Б.В.	102
92.	Коновалов С.К.	171
93.	Копытина Н.В.	161
94.	Коровушкин А.И.	143
95.	Коротаев Г.К.	29, 38, 44, 70, 116, 152
96.	Корчемкина Е.Н.	102, 103
97.	Кочергин В.С.	170
98.	Кочергин С.В.	170
99.	Краевская Н.Ю.	58
100.	Кременчуцкий Д.А.	171
101.	Кривенко О.В.	100
102.	Крыль М.В.	114
103.	Кубряков А.А.	69, 74, 76, 116
104.	Кубряков А.И.	50, 116
105.	Кубрякова Е.А.	76
106.	Кудрявцев В.Н.	88, 93
107.	Кузин В.И.	61
108.	Кузьмичёва Т.Ф.	158
109.	Куклев С.Б.	80, 81
110.	Курносова М.О.	160

111.	Лазарчук И.П.	172
112.	Ландер А.В.	48
113.	Лаптева Н.А.	61
114.	Ластовенко О.Р.	173
115.	Латушкин А.А.	103
116.	Лебедев К.В.	86, 159, 160
117.	Лемешко Е.Е.	148
118.	Лемешко Е.М.	87, 138, 148
119.	Ли М.Е.	118
120.	Лисецкий И.В.	82
121.	Лисютин В.А.	173
122.	Литвиненко С.Р.	84
123.	Лишаев П.Н.	166
124.	Ломакин П.Д.	78, 149
125.	Лубков А.С.	175
126.	Лукьянова А.Н.	134
127.	Лунев Е.Г.	82, 83, 84, 114, 156
128.	Максакова С.В.	99
129.	Маленко Ж.В.	173
130.	Манилюк Ю.В.	51
131.	Маньковская Е.В.	87
132.	Маркова Н.В.	42
133.	Мартынов М.В.	168
134.	Мартынов О.В.	103
135.	Матишов Г.Г.	23
136.	Машкина И.В.	41
137.	Мельников В.А.	71, 115
138.	Мизюк А.И.	38, 69, 129
139.	Михайличенко С.Ю.	167
140.	Михайлова Н.В.	56, 73, 114, 150
141.	Михайлова Э.Н.	44
142.	Моисеева Н.А.	100
143.	Мольков А.А.	102
144.	Морозов А.Н.	87
145.	Мотыжев С.В.	82, 83, 84, 114, 157
146.	Мурынин А.Б.	96
147.	Мысленков С.А.	81, 115
148.	Мязин В.В.	161

149.	Нигматулин Р.И.	24
150.	Никонов А.А.	48
151.	Новотрясов В.В.	39
152.	Онищенко О.Г.	130
153.	Онопrienко В.А.	33
154.	Павлушин А.А.	44
155.	Пелевин В.В.	102
156.	Пинегина Т.К.	121
157.	Пиотух В.Б.	115
158.	Пищальник В.М.	141
159.	Платов Г.А.	61
160.	Погарский Ф.А.	55
161.	Погребной А.Е.	151
162.	Полников В.Г.	55
163.	Пономарев В.И.	41, 63
164.	Похотелов О.А.	130
165.	Пранц С.В.	41
166.	Ратнер Ю.Б.	70, 106, 109
167.	Репина И.А.	54
168.	Реснянский Ю.Д.	107
169.	Родионов А.А.	67
170.	Романенков Д.А.	67
171.	Рябцев Ю.Н.	138
172.	Сабинин К.Д.	152
173.	Сабурин Д.С.	49
174.	Сакерин С.М.	101
175.	Самодуров А.С.	118
176.	Саркисян А.С.	30, 110
177.	Сафрай А.С.	67
178.	Свищев С.В.	91
179.	Семёнов В.В.	161, 176
180.	Семенов Е.В.	33
181.	Сендеров М.В.	38, 69
182.	Сибгатуллин И.Н.	135
183.	Сизов А.А.	56, 73
184.	Слепчук К.А.	177
185.	Слепышев А.А.	136
186.	Соколов А.Н.	137

187.	Соловьев В.А.	77
188.	Соловьев Д.А.	153
189.	Соловьев Д.М.	102
190.	Соломаха Т.А.	126
191.	Сороковикова О.С.	127, 128
192.	Станичный С.В.	74
193.	Степанов Д.В.	39
194.	Стрелков С.А.	99
195.	Струков Б.С.	107
196.	Суслин В.В.	100
197.	Сухих Л.И.	111, 163
198.	Сушкевич Т.А.	99
199.	Тараканов Р.Ю.	160
200.	Телегин В.А.	81
201.	Тимохов Л.А.	28
202.	Тимченко И.Е.	124
203.	Ткаченко И.В.	67
204.	Толокнов Ю.Н.	143
205.	Толстошеев А.П.	82, 83, 84, 85, 114, 156
206.	Толстых М.А.	37
207.	Троицкая Ю.И.	68
208.	Улейский М.Ю.	41
209.	Ушаков К.В.	37, 108, 110
210.	Фадеев Р.Ю.	37
211.	Файман П.А.	41
212.	Федоров С.В.	87
213.	Филатов Н.Н.	27
214.	Фомин В.В.	109, 139, 167
215.	Фролов А.В.	22
216.	Фролов И.Е.	28
217.	Халиулин А.Х.	119, 164
218.	Харитоновна Л.В.	139
219.	Хмара Т.В.	177
220.	Холод А.Л.	106
221.	Цыганов В.А.	168
222.	Цыганова М.В.	138
223.	Чепыженко А.А.	78, 149
224.	Чепыженко А.И.	78, 149

225.	Черкесов Л.В.	51, 125
226.	Чубаренко Б.В.	137
227.	Чубаров Л.Б.	48
228.	Чурилова Т.Я.	100
229.	Чухарев А.М.	66
230.	Шапиро Н.Б.	44
231.	Шаповал К.О.	116
232.	Шапрон Б.	88
233.	Шкорба С.П.	63
234.	Шокуров М.В.	57, 58, 133
235.	Шульга Т.Я.	125
236.	Шутов С.А.	87
237.	Щука С.А.	77
238.	Юркевич Н.Ю.	82, 84, 156
239.	Юровская М.В.	97
240.	Юровский А.В.	73
241.	Юровский Ю.Ю.	88
242.	Яковлев Н.Г.	59
243.	Ярошенко А.А.	173
244.	Rak D.	77
245.	Staśkiewicz A.	77
246.	Zodiatis George	164

Тезисы докладов научной конференции
«Мировой океан: модели, данные и оперативная океанология»

Подписано к печати 15 августа 2016 г.
Формат 60 84 1/6.

Отпечатано СРОО «Дом солнца»,
ул. Хрусталева, 143, тел. 8692 656011.
Заказ 71, тираж 250.