

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**РОССИЙСКИЙ ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**ЧЕРНОМОРСКИЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**



**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**МОРЯ РОССИИ:
МЕТОДЫ, СРЕДСТВА И
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**



**г. Севастополь – пгт. Качивели
24–28 сентября 2018 г.**

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**РОССИЙСКИЙ ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**ЧЕРНОМОРСКИЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**МОРЯ РОССИИ:
МЕТОДЫ, СРЕДСТВА И
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**г. Севастополь – пгт. Кацивели
24–28 сентября 2018 г.**

Моря России: методы, средства и результаты исследований /
Тезисы докладов всероссийской научной конференции. – г. Севастополь, 24–28 сентября 2018 г. – Севастополь: ФГБУН МГИ, 2018. – 316 с.

ISBN 978-5-9908460-5-0

В сборнике представлены тезисы докладов научной конференции «Моря России: методы, средства и результаты исследований». Целью конференции является анализ современного уровня и результатов исследования физических, геологических, биогеохимических и экологических процессов в морях России, обсуждение ключевых направлений исследований и разработок, обеспечивающих научно-техническое развитие морского сектора экономики России, технологическую и экологическую безопасность природопользования.

Всероссийская научная конференция «Моря России: методы, средства и результаты исследований» проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта № 18-05-20079 Г и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Редколлегия: чл.-корр. РАН, д. геогр. н. *Коновалов С.К.*;

д. геогр. н. *Васечкина Е.Ф.*;

д. ф.-м. н. *Кубряков А.И.*;

д. ф.-м. н. *Фомин В.В.*;

к. ф.-м. н. *Алексеев Д.В.*;

к. ф.-м. н. *Букатов А.А.*;

к. т. н. *Кузнецов А.С.*;

к. ф.-м. н. *Лемешко Е.М.*;

к. геогр. н. *Харитонова Л.В.*;

Вержевская Л.В.;

Годин Е.А.;

Котельянец Е.А.;

Пастухова М.П.

© Коллектив авторов, 2018

© ФГБУН МГИ, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Коновалов С.К., Орехова Н.А., Видничук А.В.</i> Окислительно-восстановительные условия и процессы на границе с донными отложениями	19
<i>Матишов Г.Г.</i> Актуальность эмпирических подходов в оперативной океанологии и в изучении опасных явлений	20
<i>Моисеенко Т.И.</i> Эволюция биогеохимических циклов в современных условиях антропогенных нагрузок: пределы воздействий.....	22
<i>Нигматулин Р.И.</i> Приближение квазистатичности в гидродинамике океана и атмосферы. Негиперболичность, устойчивость и корректность	24
<i>Огородов С.А.</i> Термоабразия берегов и экзарация дна как факторы риска строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений в прибрежно-шельфовой зоне морей криолитозоны.....	25

СЕКЦИЯ 1

«ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ОКЕАНОЛОГИИ»

<i>Архипкин В.С., Павлова А.В., Мысленков С.А.</i> Сгонно-нагонные колебания уровня моря в Северном Каспии: моделирование, генезис и анализ	26
<i>Базыкина А.Ю., Фомин В.В.</i> Амплитудные характеристики волн цунами в Азово-Черноморском регионе	28
<i>Барабанов В.С.</i> Моделирование формирования холодной аномалии температуры поверхности Черного моря в сентябре 2014 г. совместной моделью WRF-NEMO	29
<i>Булатов В.В., Владимиров Ю.В.</i> Фундаментальные проблемы волновой динамики в неоднородном океане	31

<i>Владимирова О.М., Ерёмкина Т.Р., Исаев А.В., Рябченко В.А., Савчук О.П.</i> Моделирование растворенного органического вещества в финском заливе.....	33
<i>Гиппиус Ф.Н., Мысленков С.А.</i> Региональные особенности ветрового волнения в прибрежных акваториях Черного моря по данным численного моделирования	35
<i>Григорьев А.В., Грузинов В.М., Зацепин А.Г., Воронцов А.А., Кубряков А.И., Шаповал К.О.</i> Оперативная океанография северо-восточной части Черного моря: оценки точности моделирования в сравнении с данными натурных измерений	36
<i>Дорофеев В.Л., Сухих Л.И.</i> Анализ долговременной изменчивости экосистемы Черного моря на основе результатов моделирования.....	38
<i>Дорофеев В.Л., Сухих Л.И.</i> Изучение циркуляции в Черном море по результатам физического реанализа	39
<i>Дымова О.А., Миклашевская Н.А.</i> Оценка точности результатов моделирования циркуляции Черного моря при использовании различных данных о топографии дна	41
<i>Ефимов В.В.</i> Формирование климата Южного берега Крыма	43
<i>Зеленько А.А., Струков Б.С., Реснянский Ю.Д.</i> Глобальная система усвоения океанографических данных с моделью NEMO и трехмерной вариационной схемой анализа	44
<i>Иванов В.А., Шульга Т.Я., Пластун Т.В., Свищёва И.А.</i> Исследование пространственно-временных параметров модифицированных баротропных волн в шельфовых районах Черного моря	46
<i>Калинюк И.В., Маленко Ж.В., Ярошенко А.А.</i> Особенности структуры акустического поля давления в модели Шермана с источником, расположенным вблизи упругой границы.....	48
<i>Калюжная А.В., Бухановский А.В.</i> Моделирование морей Российской Арктики с использованием платформы NEMO	49

<i>Коротенко К.А.</i> Процессы протрузии и отрыва прибрежных антициклонических вихрей и их влияние на перенос загрязнений в Черном море	51
<i>Кочергин В.С., Кочергин С.В.</i> Применение вариационного алгоритма ассимиляции данных измерений в модели переноса пассивной примеси	52
<i>Кубряков А.А., Зацепин А.Г., Станичный С.В.</i> Влияние интенсивного штормового воздействия на возникновение аномального осенне-летнего цветения фитопланктона в 2015 году	53
<i>Кулаков М.Ю., Макитас А.П., Фролов И.Е.</i> Исследование ледопродуктивности полыней моря Лаптевых с помощью динамической термодинамической модели.....	55
<i>Куркин А.А., Куркина О.Е., Рувинская Е.А., Талалушкина Л.В., Гиниятуллин А.Р.</i> Внутренние волны в Охотском море: наблюдения, моделирование и анализ	56
<i>Куркина О.Е., Тюгин Д.Ю.</i> Технология расчетов гидрофизических полей при распространении внутренних волн в рамках слабонелинейных моделей	58
<i>Лазоренко Д.И., Манилюк Ю.В., Фомин В.В.</i> Исследование резонансных колебаний в акваториях сева­стопольских бухт	60
<i>Лебедев К.В., Тараканов Р.Ю.</i> Моделирование вклада ветра в изменчивость Антарктического циркумполярного течения.....	62
<i>Лебедев Н.Е., Запезалов А.С.</i> Влияние нелинейных эффектов в поле поверхностных волн на формирование зоны солнечного блика	64
<i>Лисютин В.А., Ластовенко О.Р., Ярошенко А.А., Петренко Н.В.</i> Подключение межгранулярного трения к теории Био-Столла	66
<i>Лишаев П.Н., Кныш В.В., Коротаев Г.К.</i> Восстановление трехмерной структуры температуры и солености Черного моря в верхнем слое по данным буев Argo.....	68

- Лобовиков П.В., Рувинская Е.А., Куркина О.Е., Куркин А.А.* Исследование динамики полнонелинейного бризера первой моды при распространении над донным уступом.....70
- Лопатухин Л.И., Бухановский А.В.* Статистика параметра пиковатости в спектре ветровых волн.....71
- Лукиянова А.Н., Иванов В.А., Залесный В.Б.* Сейшевые колебания в Черном море по результатам численного моделирования с помощью модели Черного и Азовского морей ИВМ РАН.....72
- Михайличенко С.Ю., Иванча Е.В.* Трансформация поверхностных гравитационных волн при взаимодействии с берегозащитными сооружениями в прибрежной зоне с реальным рельефом дна.....73
- Нечаев С.С., Маркова Н.В., Демьшев С.Г., Шокуров М.В.* Формирование особенностей структуры гидрофизических полей в глубинных слоях Черного моря при прохождении аномального циклона.....74
- Павлушин А.А., Шапиро Н.Б., Михайлова Э.Н.* Энергетические балансы в статистически-равновесном режиме в двухслойной вихреразрешающей модели Черного моря75
- Павлушин А.А., Шапиро Н.Б., Михайлова Э.Н.* Длинные волны в двухслойной вихреразрешающей модели Черного моря в статистически-равновесном режиме76
- Пономарев В.И., Файман П.А., Дубина В.А., Карнаухов А.А., Шкорба С.П.* Моделирование разномасштабной изменчивости циркуляции в Татарском проливе и водообмена между Японским и Охотским морями78
- Пухлий В.А., Мирошниченко С.Т., Глушкова Е.В., Пантель В.О.* Математические модели процессов разложения газовых гидратов в морях и океанах. Аналитическое решение задачи Стефана.....80
- Ратнер Ю.Б., Холод А.Л., Шабан С.А.* Анализ изменчивости верхней границы сероводородного слоя по данным диагноза и прогноза состояния Черного моря.....83

<i>Санников В.Ф.</i> Эволюция поля внутренних волн, генерируемых движущейся с переменной скоростью областью барических образований во вращающейся жидкости	85
<i>Свищев С.В., Тимченко И.Е.</i> Адаптивное моделирование сезонного хода неорганических форм азота в Севастопольской бухте.....	86
<i>Слепешев А.А., Воротников Д.И., Носова А.В., Лактионова Н.В.</i> О генерации вертикальной тонкой структуры инерционно-гравитационными внутренними волнами	89
<i>Соколичина Н.Н., Петров Е.О., Семенов Е.К.</i> Трансформация тропических циклонов на полярном фронте над Охотским морем	90
<i>Федоров А.М., Белоненко Т.В.</i> Исследование глубокой конвекции в Лофотенской котловине Норвежского моря.....	92
<i>Филиппова Т.А., Васечкина Е.Ф.</i> Математическое моделирование аквакультуры макроводорослей: параметризация продукционных процессов	94
<i>Хмара Т.В.</i> Применение численной модели для исследования динамики вод в акватории Восточного Сиваша.....	96
<i>Цыганова М.В., Рябцев Ю.Н.</i> Определение положения размещения источников загрязнения с учетом минимизации ущерба рекреационным зонам прибрежной части центра Севастополя	98
<i>Чухарев А.М.</i> Применение нестационарной модели для расчета характеристик турбулентности в приповерхностном слое моря	100
<i>Шокуров М.В.</i> Численное моделирование мезомасштабных атмосферных процессов в Черноморском регионе и в Арктике	101
<i>Шокуров М.В., Краевская Н.Ю.</i> Особенности бризовой циркуляции в рамках линейной теории.....	102

СЕКЦИЯ 2
«МЕТОДЫ, СРЕДСТВА И РЕЗУЛЬТАТЫ
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
МОРСКИХ СИСТЕМ»

- Алескерова А.А., Кубряков А.А., Горячкин Ю.Н., Станичный С.В.* Перенос взвешенного вещества у западного побережья Крыма при ветрах различных направлений..... 104
- Антоненков Д.А.* Оптический метод контроля параметров взвешенного в воде вещества..... 106
- Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А., Латушкин А.А., Федирко А.В.* Сезонная изменчивость гидрооптических характеристик, хлорофилла «а» и температуры на поверхности Черного моря по спутниковым данным..... 108
- Баянкина Т.М., Сизов А.А., Юровский А.В.* Исследование деформации изотермических поверхностей верхнего слоя Черного моря в антициклонических вихрях при экстремальном атмосферном форсинге..... 110
- Бежин Н.А., Довгий И.И., Выдыш А.А., Янковская В.С.* Анализ ^{210}Pb в морской воде сорбентами импрегнированного типа на основе полифункциональных соединений 111
- Богуславский А.С., Казаков С.И., Лемешко Е.Е., Берзова И.Г.* Исследование зон быстрого транзита и разгрузки карстовых подземных вод Южного берега Крыма 112
- Бондур В.Г., Воробьев В.Е., Замшин В.В.* Космический мониторинг загрязнений морской среды на основе анализа пространственной структуры поверхностного волнения.... 114
- Бондур В.Г., Серебряный А.Н., Замшин В.В.* Обнаружение цуга аномальных для Черного моря внутренних волн по результатам комплексного наземно-космического эксперимента..... 116
- Булгаков К.Ю.* Методика расчета вероятности появления экстремальных волн по многолетним данным исторического анализа 118

<i>Буфетова М.В.</i> Оценка баланса тяжелых металлов свинца и кадмия в Таганрогском заливе Азовского моря	120
<i>Весман А.В., Баимачников И.Л.</i> Сезонная и межгодовая изменчивость адвекции потоков тепла в Северо-Европейском бассейне.....	122
<i>Видничук А.В., Коновалов С.К.</i> Оценка изменений концентрации сероводорода в анаэробной зоне Черного моря по многолетним данным	123
<i>Войнова М.В., Татарников В.О., Островская Е.В., Коршенко А.Н., Кашин Д.В.</i> Влияние климатических факторов на многолетнюю динамику биогенных веществ в Северном Каспии	125
<i>Воронович Е.П.</i> Механизмы переноса осадочного вещества в Арктическом бассейне	127
<i>Греков А.Н., Греков Н.А., Сычев Е.Н.</i> Анализ метода определения солености морских вод по измерениям температуры, скорости звука и давления	129
<i>Довгий И.И., Бежин Н.А., Выдыш А.А., Козловская О.Н., Кременчуцкий Д.А., Проскурнин В.Ю.</i> Извлечение радиоизотопов ^{32}P и ^{33}P из морской воды	131
<i>Дулов В.А., Кудрявцев В.Н., Скиба Е.В.</i> Временное развитие ветровых волн по данным с океанографической платформы в Кацивели.....	132
<i>Елкин Д.Н., Зацепин А.Г.</i> Влияние подводных хребтов на фронтальные течения над наклонным дном во вращающейся жидкости.....	133
<i>Ефремов О.И., Чухарев А.М.</i> Вихревая составляющая в ветровых волнах по измерениям на океанографической платформе.....	135
<i>Замшин В.В., Матросова Е.Р., Харченко В.Д., Ходаева В.Н.</i> Мониторинг нефтепроявлений в Черном море по данным космических оптических и радиолокационных съёмок	137

<i>Иванов В.В.</i> Изменения вертикальной структуры вод в бассейне Нансена Северного Ледовитого океана как следствие сокращения ледяного покрова	139
<i>Козлов И.Е., Артамонова А.В., Кубряков А.А.</i> Характеристики вихрей в морях Чукотском и Бофорта по данным спутниковых радиолокационных измерений.....	140
<i>Козлов И.Е., Риппет Т., Зубкова Е.В., Грин М., Линкольн Б., Сундфьорд А.</i> Короткопериодные внутренние волны и вертикальное перемешивание в Арктике: результаты спутниковых наблюдений и натурных измерений.....	142
<i>Колмак Р.В., Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А., Федирко А.В.</i> Структура фронтальных зон на поверхности Черного моря и их сезонная изменчивость	143
<i>Кориненко А.Е., Малиновский В.В., Кудрявцев В.Н.</i> Статистические характеристики обрушений ветровых волн	145
<i>Корчемкина Е.Н., Маньковская Е.В.</i> Методика расчета биооптических характеристик прибрежных вод Севастопольского региона по данным показателя ослабления	147
<i>Котельянец Е.А. Гуров К.И.</i> Динамика загрязнения донных отложений Севастопольской бухты	148
<i>Крашенинникова С.Б., Шокурова И.Г.</i> Аномалии скорости течений и температуры в океане при смещении северной границы Гольфстрима.....	150
<i>Кузнецов А.С., Зима В.В., Щербаченко С.В.</i> Особенности синоптической изменчивости течений у Южного берега Крыма	152
<i>Латушкин А.А., Лемешко Е.М.</i> Пространственно-временная изменчивость показателя ослабления направленного света в Голубом заливе в период интенсивного цветения кокколитофорид	154
<i>Лисютин В.А., Ластовенко О.Р., Дьолог А.И.</i> Анализ связей между физическими характеристиками морских осадков и геометрическими характеристиками порового пространства	156

- Лобчук О.И., Есюкова Е.Е., Чубаренко И.П.* Особенности распределения микропластика в различных зонах песчаных пляжей в районе Куршской косы (Балтийском море).. 157
- Лобчук О.И., Чубаренко И.П.* Структура холодного промежуточного слоя Балтийского моря и свойства его вод..... 159
- Ломакин П.Д., Чепыженко А.А.* Оценка концентрации общего взвешенного и растворенного органического веществ в водах Керченского пролива на базе оптической спутниковой информации..... 161
- Ломакин П.Д., Чепыженко А.И., Чепыженко А.А.* Структура гидрофизических полей и поля содержания растворенного органического вещества в дельте р. Дон в июне 2015 года 162
- Майборода С.А., Метик-Диюнова В.В., Симонова Ю.В., Казаков С.И., Корсаков П.Б.* Межгодовая изменчивость атмосферных осадков на Южном берегу Крыма 164
- Марчукова О.В.* Возникновение и тенденция двух типов Эль-Ниньо – Южное Колебание по различным реконструированным данным поверхностной температуры воды 166
- Марчукова О.В.* Исследование глобальных проявлений сочетания разных типов Ла-Нинья с фазами Тихоокеанской декадной осцилляции..... 168
- Марьина Е.Н., Харламов П.О., Кустова Е.В., Лобанов В.Б., Сергеев А.Ф., Воронин А.А., Щербинин П.Е., Пономарев В.И., Лазарюк А.Ю.* Мониторинг и исследование гидрометеорологических процессов прибрежной зоны в Японском море посредством океанографического буя-волнографа Wavescan..... 170
- Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Лычагин М.Ю., Сорокина В.В., Клещенков А.В., Поважный В.В., Цыганкова А.Е., Ткаченко А.Н., Ткаченко О.В., Бердников С.В.* Интегральная оценка эколого-геохимического состояния аквальных систем устьевой области Дона..... 172

<i>Метик-Дионова В.В., Симонова Ю.В., Майборода С.А.</i> Оценка связи внутрigoдовой изменчивости характеристик апвеллингов и метеорологических параметров прибрежной зоны Черного моря в районе ЮБК.....	175
<i>Морозов А.Н.</i> Статистика чисел Ричардсона, наблюдения с океанографической платформы	177
<i>Никольский Н.В.</i> Региональные особенности синоптической и сезонной изменчивости поля температуры в Арктических морях по данным реанализа NOAA OI SST	178
<i>Новицкий А.В., Марюшкин Ю.А.</i> Методологические основы оценки влагосодержания почвы методами дистанционного зондирования.....	180
<i>Орехова Н.А.</i> Многолетние изменения характеристик карбонатной системы Севастопольской бухты.....	181
<i>Орехова Н.А., Овсяный Е.И., Гуров К.И.</i> Особенности динамики накопления органического углерода в донных отложениях Балаклавской бухты (по результатам наблюдений 2005–2010 гг.)	183
<i>Островская Е.В., Петреченкова В.Г., Радованова И.Г.</i> Влияние стока р. Волги на загрязнение вод Северного Каспия.....	185
<i>Остроумова Л.П., Мишин Д.В., Евстигнеев В.П., Вишневская И.А.</i> Пространственно-временная изменчивость потерь воды на испарение с поверхности Азовского моря: новая методология расчета.....	186
<i>Петренко Л.А.</i> Влияние водообмена через Керченский пролив на ледовые условия Азовского моря по данным спутниковых наблюдений	188
<i>Пиотух В.Б., Мысленков С.А., Зацепин А.Г., Александрова А.Г., Соловьев Д.М.</i> Временная изменчивость уровня обратного акустического рассеяния в прибрежной зоне Черного моря и ее физические причины.....	189
<i>Попов М.А.</i> Исследование течений в районах размещения марихозяйств (Черное море, Севастополь).....	191

- Савоськин В.М.* Морской бриз. Альтернативные способы получения пресной воды для нужд Севастополя и Крыма.....193
- Татарников В.О., Войнова М.В., Островская Е.В., Коршенко А.Н., Попова Н.В.* Пространственное распределение стойких органических загрязнителей в зоне геохимического барьера Северного Каспия.....195
- Цыбулевская М.В.* Популяционные характеристики *Carapa thomasi* в Черном море за период 2013–2017 гг. (на примере Сухумской бухты, Абхазия).....197
- Шокурова И.Г., Медведев Е.В., Кондратьев С.И.* Аппроксимация профиля сероводорода в Черном море аналитической функцией по данным натурных измерений 2010–2016 гг.199
- Шоларь С.А., Гайский П.В., Степанова О.А.* Изменения показателя ослабления света морской воды под влиянием микробиоты в условиях эксперимента201
- Щдро А.Е., Чепыженко А.И.* Гидродинамические циркуляционные процессы в прибрежной зоне (формирование, методы оценки, роль в экологическом балансе)203
- Щука С.А., Артемьев В.А.* Комплексные гидрофизические исследования распространения речного стока в морях Российской Арктики205
- Юровская М.В., Кудрявцев В.Н.* Оценка скорости поверхностного течения по оптическим снимкам морской поверхности207
- Юровский Ю.Ю., Кудрявцев В.Н., Гродский С.А., Шапрон Б.* Низкочастотные колебания доплеровского сдвига частоты радиолокационного сигнала, рассеянного морем208

СЕКЦИЯ 3
«СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И АКТУАЛЬНЫЕ
ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ
ОКЕАНОЛОГИИ»

<i>Башмачников И.Л., Федоров А.М., Весман А.В.</i> Индексы межгодовой изменчивости глубокой конвекции в субполярных морях Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана	211
<i>Белокопытов В.Н., Годин Е.А.</i> Перспективы развития банка океанографических данных ФГБУН МГИ.....	213
<i>Букатов А.А., Соловей Н.М., Павленко Е.А.</i> Пространственно-временная изменчивость распределения частоты плавучести в море Лаптевых и Восточно-Сибирском море.....	215
<i>Бухановский А.В., Лопатухин Л.И.</i> Интеллектуальные технологии создания и эксплуатации электронных гидрометеорологических справочников нового поколения.....	217
<i>Василенко Н.В., Медведева А.В.</i> Фитопланктон в водах Азовского моря – характеристика по данным дистанционного зондирования.	219
<i>Вержевская Л.В., Багаев А.В.</i> Анализ влияния муниципальных стоков на развитие рекреационной инфраструктуры с помощью ГИС-технологий.....	220
<i>Воронцов А.А., Баталкина С.А.</i> Использование ГИС-технологий в государственной информационной системе ЕСИМО для обеспечения морской деятельности	222
<i>Воронцов А.А., Годин Е.А., Ингеров А.В., Исаева Е.А.</i> Базы данных по Черному морю ФГБУН МГИ и ФГБУ ВНИГМИ-МЦД: результаты сравнения.....	225
<i>Вязилов Е.Д., Михайлов Н.Н., Белов С.В., Воронцов А.А.</i> Комплексная система мониторинга морей России: использование возможностей ЕСИМО.....	227

<i>Вязилова Н.А.</i> Об усилении экстремальности циклонической и штормовой активности в Северной Атлантике и морях России.....	229
<i>Гармашов А.В., Толочков Ю.Н., Коровушкин А.И.</i> Гидрометеорологический мониторинг на стационарной океанографической платформе в Голубом заливе.....	231
<i>Георга-Копулос А.А.</i> Современное состояние и проблемы правового регулирования информационного обеспечения государственного управления морской деятельностью в Российской Федерации	233
<i>Годин Е.А., Ингеров А.В., Пластун Т.В., Андриющенко Е.Г., Жук Е.В., Галковская Л.К., Исаева Е.А., Касьяненко Т.Е.</i> Использование информационных ресурсов Банка океанографических данных ФГБУН МГИ при решении научно-исследовательских и прикладных задач.....	235
<i>Грузинов В.М., Дьяков Н.Н., Дианский Н.А., Мезенцева И.В., Фомин В.В., Коршенико А.Н., Жохова Н.А., Мальченко Ю.А.</i> Оценка влияния динамики вод на экологическое состояние прибрежных вод Крыма	237
<i>Евстигнеев В.П., Лемешко Н.А., Наумова В.А.</i> Статистический анализ экстремумов гидрометеорологического режима по данным многолетних наблюдений в прибрежной зоне Азово-Черноморского региона.....	239
<i>Евстигнеев В.П., Остроумова Л.П., Наумова В.А., Любарец Е.П.</i> Влияние пропусков наблюдений на оценку средних величин гидрометеорологических элементов	241
<i>Еремина Е.С., Совга Е.Е.</i> Оценка изменения гидрологического режима водно-болотного угодья «Восточный Сиваш»	242
<i>Жук Е.В., Годин Е.А., Ингеров А.В.</i> ГИС прибрежной зоны России в Черном море.....	243
<i>Иваненко Т.А., Садыкова Г.Э.</i> Исследование возможностей применения технологии Geotube для берегозащиты (на примере Западного Крыма).....	245

<i>Кондратьев С.И., Люльчак Д.С.</i> Распределение биогенных элементов и растворенного кислорода в прибрежной акватории поселков Симеиз и Качивели	247
<i>Коршенко А.Н.</i> Государственная система контроля гидрохимического состояния и загрязнения морской среды.....	249
<i>Кузьмичева Т.Ф.</i> Сроки появления первого устойчивого льда и полного его таяния в районе северной части бывшего Аральского моря по результатам анализа снимков, полученных со спутников <i>Aqua/Terra</i> приборами <i>Modis</i> в 2008–2018 гг.....	253
<i>Куприков Н.М., Иванов Б.В., Доронин Д.О., Журавский Д.М., Дубиненков И.В., Зайков К.С., Сабуров С.А., Сорокин П.А.</i> Повышение конкурентоспособности деятельности и проведения исследований в полярных регионах.....	255
<i>Латушкин А.А., Артамонов Ю.В., Федирко А.В., Корчемкина Е.Н., Скрипалева Е.А., Хурчак А.П.</i> Результаты исследования пространственного распределения гидрооптических параметров в поверхностном слое Черного моря в весенне-летний период 2017 г. по данным контактных измерений.....	258
<i>Латушкин А.А., Суслин В.В., Мартынов О.В.</i> Вертикальное распределение спектральной подводной облученности на северо-западном шельфе Черного моря в весенний период.....	260
<i>Лебедев К.В.</i> Анализ состояния мирового океана на основе данных дрейфующих измерителей <i>argo</i> 2001–2018 гг.....	262
<i>Лемешко Е.Е., Полозок А.А.</i> Опасные гидрологические явления в районе береговой станции опасное за период 2003–2013 гг.....	264
<i>Липченко А.Е., Дьяков Н.Н., Коршенко А.Н., Левицкая О.В., Шibaева С.А.</i> Банк океанографических данных Керченского пролива.....	266
<i>Макаров К.Н.</i> Программный комплекс для расчета параметров волн в окраинных морях	268

<i>Медведева А.В., Станичный С.В.</i> Характеристики мезомасштабных и субмезомасштабных процессов по спутниковым данным.....	270
<i>Морозов А.Н., Кузнецов А.С., Маньковская Е.В., Вержевская Л.В., Щербаченко С.В.</i> Вертикальная структура сдвигов скорости течения в основном пикноклине Черного моря по данным натурных наблюдений 2016 г.	271
<i>Мыслина М.А., Вареник А.В., Орехова Н.А.</i> Особенности пространственно-временного распределения биогенных элементов в Черном море в 2017 г.....	272
<i>Новицкая В.П., Лемешко Е.М.</i> Применение данных GRACE для оценивания водного баланса Черного моря.....	274
<i>Петренко Л.А., Козлов И.Е.</i> Пространственно-временная изменчивость мезомасштабных вихрей в проливе Фрама.....	275
<i>Погребной А.Е.</i> Районирование и сезонная изменчивость напряжения трения ветра и его завихренности над Черным морем.....	276
<i>Прохоренко Ю.А.</i> Различия изменчивости относительной прозрачности вод в характерных районах Черного моря....	278
<i>Рубакина В.А., Кубряков А.А., Станичный С.В.</i> Анализ сезонной изменчивости суточного хода температуры поверхностного слоя Черного моря по данным сканера SEVIRI.....	280
<i>Савоськин В.М.</i> Возможность использования флюориметра при проведении натурных измерений.....	282
<i>Симонова Ю.В., Дмитроца А.И., Метик-Диюнова В.В.</i> Сохранение архивных данных гидрометеорологических параметров в ЧГП РАН.....	284
<i>Слепчук К.А.</i> Оценка уровня эвтрофирования восточного района Севастопольской бухты на основе индекса E-TRIX.....	285
<i>Суркова Г.В.</i> Высокие значения скорости ветра над морями Арктики в условиях меняющегося климата	287

<i>Тимченко И.Е., Науменко И.П., Игумнова Е.М.</i> Ассимиляция данных наблюдений в адаптивной модели морской экосистемы	289
<i>Тимченко И.Е., Игумнова Е.М.</i> Информационные технологии управления ресурсами морской среды в эколого-экономических системах «берег – море».....	291
<i>Федирко А.В., Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А.</i> Особенности синоптической изменчивости гидрологической структуры вод Черного моря по данным экспедиционных и спутниковых измерений	293
<i>Федирко А.В., Артамонов Ю.В., Шутов С.А., Скрипалёва Е.А., Колмак Р.В.</i> Пространственно-временная изменчивость гидрологической структуры вод Черного моря по материалам съемок 2017 г. (94-й, 95-й, 98-й, 101-й рейсы НИС «Профессор Водяницкий»)	295
<i>Федоров А.А., Юровских А.И.</i> Опыт эксплуатации и перспективы развития военной подсистемы ЕСИМО	297
<i>Фёдоров А.М., Башмачников И.Л.</i> Точность оценки интенсивности конвекции в зависимости от количества данных наблюдений.....	299
Перечень организаций	301
Авторский указатель	307

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ И ПРОЦЕССЫ НА ГРАНИЦЕ С ДОННЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ

Коновалов С.К., Орехова Н.А., Видничук А.В.

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

Ключевые слова: Кислород и сероводород, окислительно-восстановительные процессы, биогеохимия, вода и донные отложения.

Кислород является веществом, обеспечивающим саму возможность существования типичных морских экосистем и их ценность. Влияние каких-либо иных физических и химических факторов на морские экосистемы является вторичным и имеет смысл только при условии достаточного количества кислорода. Появление «мертвых» зон дефицита кислорода и сероводородного заражения становится обычным явлением для прибрежных районов всего Мирового океана и всегда приводит к крайне отрицательным последствиям.

В докладе рассмотрена роль гидрофизических и биогеохимических процессов в формировании зон дефицита кислорода и сероводородного заражения, а также количественная оценка условий возникновения дефицита кислорода и сероводородного заражения прибрежных акваторий.

На примере глубоководной части Черного моря представлены процессы, определяющие баланс окислительно-восстановительных условий, состояние и устойчивость аэробной и анаэробной зон моря. С использованием численной модели выполнен анализ роли физических и биогеохимических процессов. Получены данные о роли потоков кислорода и сероводорода на границе воды с донными отложениями.

На примере прибрежных районов Крымского полуострова представлены данные о многолетних измерениях содержания кислорода в придонном слое вод. Показана роль и значение содержания органического углерода в формировании окислительно-восстановительных условий в придонном слое вод и верхнем слое донных отложений. Приведены данные о влиянии антропогенных и естественных источников органического углерода, включая поступление метана из донных отложений, на окислительно-восстановительные условия на поверхности донных отложений в прибрежной зоне.

В докладе использованы данные, полученные при выполнении темы госзадания ФГБУН МГИ 0827-2018-0003, а также проектов РФФИ № 18-05-80028\18 и 16-05-00471\18.

АКТУАЛЬНОСТЬ ЭМПИРИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ В ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОЛОГИИ И В ИЗУЧЕНИИ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Матишов Г.Г.

*СОФАГ ОНЗ РАН, г. Москва, Россия.
matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru*

Ключевые слова: отечественная океанология, мониторинг и натурные данные, морской лед, климат, опасные явления, натурные данные, поддержка экспедиций, предупреждение стихий.

Расцвет отечественной океанологии в советский период сменился в 21 веке эпизодической работой институтов в морях и океанах. Для примера отметим ММБИ, который с 1935 года ведет исследования от Шпицбергена до моря Лаптевых, а зимой – по трассе Севморпути на атомных ледоколах. Более 15-ти лет в фокусе исследований ЮНЦ – южные моря.

Сегодня предсказать изменчивость природной среды нерационально. Требуется более качественное осмысление эмпирической базы данных. Ревизию и учет гидрометеопоказателей за сто лет выполнили ММБИ с американским NOAA. Учтены измерения

порядка 600 тыс. станций, термохалинные данные за 150 лет. Принципиально новый подход к организации комплексного наземного и дистанционного мониторинга («глобальной обсерватории») прорабатывается в рамках международного проекта РЕЕХ (Пан-Евроазиатский эксперимент) (Кулмала, 2018). Ограничения при наблюдении за состоянием Земли связаны с недостаточно высокой плотностью сети наземных и морских гидрологических станций. Крайне мала сеть метеостанций в Арктике за полярным кругом. В мировом океане 25–30% дрейфующих гидробуев не работает, а те, что действуют – это 1 буй на 210 тыс. км. Спутники покрывают на глобусе зону между 60° северной и южной широты. Спутниковое профилирование дает грубую оценку толщины и площади льда. Существует много алгоритмов расчета площади морского льда. Погрешность расчетов достигает 10% или 1 млн км². В моделях и прогнозах глобального климата учитывают поверхностный слой (200–400 м) течений воды. На Северном полюсе, где глубина 4 200 м тонкий слой Гольфстрима представляется мизерным. Предстоит учитывать стратификацию вод в слое 5–10 км до дна океана.

Для начала 21 века в Арктике характерно потепление. В сентябре 2012 года площадь льда в Баренцевом море сократилась до минимума – 400 тысяч квадратных километров против «обычных» 860 тысяч. Напротив, для юга Европы аномальными явились экстремальные морозы и площади льда. В 2012 г. в Керченском проливе из-за торосов застряло во льдах сразу 100 судов. Холодная весна и лето 2013 года привели к росту покрова льда в Арктике. Из-за сплоченных льдов в проливе Вилькицкого, шириной в 100 км, эскадра кораблей Северного флота проходила его в сопровождении четырех атомных ледоколов. Масштаб развития льдов в Арктике зависит от траектории движения и географического положения Сибирского и Канадского антициклонов. Во многих случаях сибирский студёный воздух смещался к Тайваню, а не в Европу, как обычно. Тепло Гольфстрима свободно достигает Земли Франца-Иосифа и формирует безлёдный климат Баренцева моря. При таком раскладе юго-западный отрог Сибирского антициклона («ось Воейкова») блокирует поступление тепла Гольфстрима к Средиземноморью.

Опасные и стихийные явления скоротечны и пока непредсказуемы. Необходимы новые фундаментальные знания и теории, единая эмпирическая база данных с целью предупреждения разрушительных воздействий океана. Требуется возродить экспедиционные и экспериментальные работы: томографию водной среды и морского дна, съемки БПЛА, дистанционное зондирование Земли, стандартные океанографические съемки с акцентом на вековые разрезы (Кольский меридиан). Ни спутники, ни прогностические модели не заменят прямую контактную океанографическую информацию. Спутники могут вести непрерывный мониторинг CO_2 , озона и аэрозолей почти на всей планете, но не могут отслеживать сотни других важных соединений или измерять потоки вещества и энергии. Спутниковые данные нуждаются в подспутниковых наблюдениях. Модели также должны верифицироваться по натурным данным. Время требует более качественного осмысления реальной базы данных.

В основу большинства моделей положены общие физические законы, которые справедливы для всех общих закономерностей природных явлений. Но модели – только инструмент. Нельзя отрицать старые подходы и опыт, полагаться на компьютерные модели и кабинетные теории, следы вчерашних спутников (Матишов Г.Г., Дженюк С.Л., 2018).

ЭВОЛЮЦИЯ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННЫХ НАГРУЗОК: ПРЕДЕЛЫ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Моисеенко Т.И.

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

Ключевые слова: биогеохимические циклы, антропогенная деятельность, эволюционные изменения.

Антропогенная деятельность привела к изменениям биогеохимических циклов вследствие огромного количества поступления

элементов и веществ в биотический круговорот и эволюционным изменениям органического мира биосферы. Приводятся примеры каскадного развития ряда негативных явлений под влиянием: нарастания содержания углекислого газа, кислотообразующих агентов, обогащения природных сред металлами, загрязнения стойкими органическими веществами и биогенными элементами. На основе аналогов прошлого дается оценка возможных последствий развивающихся антропогенно-индуцированных явлений. Приводятся доказательства, что органический мир реагирует на антропогенные преобразования активными микроэволюционными процессами. Обосновываются ключевые механизмы реакции организмов, перестройки популяций и экосистем в нарушенных условиях. В докладе приведены примеры, которые показывают, что активированная человеческой деятельностью потоки элементов и веществ приводят к развитию негативных процессов, изменяют биогеохимические циклы и соответственно приводят к эволюционным изменениям органического мира, как необратимого процесса. Рассматривается методология определения критических нагрузок, как научно-обоснованная стратегия ограничения антропогенных воздействий на конкретные природные экосистемы и ландшафты. На основе обобщения литературных данных показаны в глобальной шкале превышения антропогенных выбросов CO_2 , NO_x , P, токсичных веществ и элементов, а также закисления океана, эвтрофирования, изъятия воды и др. Показано, что в определении стратегии взаимодействия человека с природой все больше надо учитывать ныне идущий стихийный процесс эволюции биогеохимических циклов. Очевидно, что развитие цивилизации остановить невозможно, поэтому биосфера будет эволюционировать и в дальнейшем, но направленность и скорость этого процесса во многом определяется нашей деятельностью. Развитие природоохранных без- и малоотходных технологий с учетом научно-обоснованных критических нагрузок на биосферу и ее экосистемы, реабилитация нарушенных территорий и акваторий является ключевым направлением в сохранении жизнеобеспечивающих условий нашей Планеты.

**ПРИБЛИЖЕНИЕ КВАЗИСТАТИЧНОСТИ
В ГИДРОДИНАМИКЕ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ.
НЕГИПЕРБОЛИЧНОСТЬ, УСТОЙЧИВОСТЬ
И КОРРЕКТНОСТЬ**

Нигматулин Р.И.

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

Ключевые слова: гидро- и термодинамические уравнения, квазистатичность, негиперболичность.

Рассмотрены гидро- и термодинамические уравнения в метеорологических или климатических масштабах, когда силы инерции пренебрежимо малы по сравнению с силой тяжести. В общем случае инерция горизонтальной скорости и температуры может быть существенной. Именно в таком приближении рассматриваются крупномасштабные течения в океане и климатические процессы в атмосфере. Для такого квазистатического (безынерционного) по вертикали течения получено асимптотически точное уравнение для распределения вертикальной скорости по распределению плотности, температуры и горизонтальных скоростей.

Квазистатичность по вертикали (малость сил инерции по вертикали по сравнению с силой тяжести) приводит к тому, что давление в каждой точке определяется весом столба жидкости или воздуха над этой точкой, и в системе уравнений «исчезает» скорость звука.

Показано, что соответствующая система уравнений является негиперболической, и малые коротковолновые возмущения решений могут расти с огромной скоростью, что разваливает крупномасштабные распределения параметров и приводит к некорректности задачи Коши. Показано, как сохранить гладкость решений и продлить метеопрогноз.

**ТЕРМОАБРАЗИЯ БЕРЕГОВ И ЭКЗАРАЦИЯ ДНА
КАК ФАКТОРЫ РИСКА СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ В ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ
МОРЕЙ КРИОЛИТОЗОНЫ**

Огородов С.А.

*МГУ, г. Москва, Россия
ogorodov@aha.ru*

Ключевые слова: криолитозона, термоабразия, воздействие ледяных образований, нефтегазотранспортная инфраструктура.

В настоящее время начинается новый этап освоения наиболее доступных в Российской Арктике месторождений на побережье и шельфе Печорского и Карского морей. Суровость природных условий этого региона является важнейшим фактором, лимитирующим применение промышленных технологий, используемых в условиях умеренного климата. Берега здесь сложены льдистыми дисперсными грунтами, а акватория 9 мес. в году покрыта льдом. Именно эти два агента, с которыми связано развитие термоабразии и экзарации, в значительной мере определяют условия строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений. В Печорском и в Карском морях уже имели место аварии, связанные с неполным учетом воздействия указанных процессов. Термоабразия – процесс разрушения берега и подводного берегового склона, сложенных многолетнемерзлыми грунтами, под механическим и тепловым воздействием моря. Термоабразионные берега разрушаются со скоростью в несколько раз большей по сравнению с берегами других типов и чрезвычайно чувствительны к климатическим изменениям и техногенным нарушениям. Опасности подвержены как инженерные сооружения, находящиеся в непосредственной близости от берегового уступа, так и линейные сооружения, транзитом пересекающие береговую линию. Оголившиеся в процессе термоабразии подводные трубопроводы могут подвергнуться прямым динамическим воздействиям морских льдов, имеющим место в процессе экзарации дна ледяными торосистыми образованиями – другого, не менее опасного для гидротехнических сооружений процесса.

СЕКЦИЯ 1
«ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЧИСЛЕННОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ В ОКЕАНОЛОГИИ»

СГОННО-НАГОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ МОРЯ
В СЕВЕРНОМ КАСПИИ: МОДЕЛИРОВАНИЕ,
ГЕНЕЗИС И АНАЛИЗ

Архипкин В.С., Павлова А.В., Мысленков С.А.

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

Ключевые слова: сгонно-нагонные колебания, моделирование, ADCIRC, Каспийское море, уровень моря.

У побережий Северного Каспия часто наблюдаются сгонно-нагонные колебания уровня моря большой амплитуды, относящиеся к опасным гидрометеорологическим явлениям.

В настоящее время наблюдения за уровнем моря в Северном Каспии проводятся только на небольшом количестве прибрежных станций 4 раза в сутки, что не позволяет выявить пространственно-временную изменчивость сгонно-нагонных колебаний уровня. В связи с этим, для выявления особенностей их формирования применялось математическое моделирование. Для этой цели была выбрана численная гидродинамическая модель ADCIRC (Advanced Circulation), включающая в себя и спектральную модель ветрового волнения SWAN.

В численных экспериментах использовалась нерегулярная триангуляционная расчетная сетка, состоящая из 71523 элементов. Она была составлена относительно абсолютного единого нуля поста для Каспийского моря, равного -28 м БС с учетом затопления и осушения прибрежной территории. В связи с тем, что уровень Каспийского моря испытывает большие годовые колебания, при расчетах глубина моря и высота суши этой расчетной сетки приводились к уровню расчетного года.

В качестве входных данных задавались поля ветра на высоте 10 метров и атмосферного давления из реанализа NCEP CFSR. Данные охватывают период с 1979 по 2010 гг. с часовым интервалом и пространственным разрешением $\sim 0,3125^\circ \times 0,312^\circ$. Северный Каспий зимой покрывается льдом. Для учета влияния льда на формирование сгонно-нагонных колебаний уровня задавалась концентрация морского льда с суточным интервалом и пространственным разрешением $\sim 0,2^\circ \times 0,2^\circ$ из базы данных OSI-450. Расчеты колебаний уровня и циркуляции вод с учетом ветра, атмосферного давления и концентрации льда проводились сразу за весь год. Затем для выделения сгонов и нагонов, а также последующего сравнения модельных данных с натурными измерениями из модельных и натуральных наблюдений удалялись низко-частотные колебания уровня моря (больше 30 суток).

Для оценки качества модели полученные модельные данные сравнивались с натурными наблюдениями на уровнях постах на о. Тюлений и в Махачкале. Коэффициент корреляции для о. Тюлений за 2003–2010 гг. изменялся в пределах 0,84–0,93, для Махачкалы – 0,78–0,95. Среднеквадратическая погрешность составляла, в среднем, для о. Тюлений около 0,1 м, для Махачкалы – 0,05 м.

Проведен анализ полученных результатов для станции о. Тюлений. Количество сгонов и нагонов с величиной большей 0,2 м за период с 1979 по 2010 гг. составило около 1200 случаев. При величине сгонов и нагонов больше 0,5 м, число сгонов (323 случая) на 28% выше нагонов (231 случай), а при величине больше 1 м – на 74% (38 и 10 случаев соответственно).

Для оценки вклада ветрового напряжения и атмосферного давления в формирование сгонов и нагонов проводились отдельные эксперименты только с ветром и только с атмосферным давлением. В обоих случаях также учитывался лед. Выявлено, что вклад давления меняется от нуля до нескольких десятков процентов при разных синоптических ситуациях.

Наибольший по величине нагон на о. Тюлений наблюдался в феврале 1981 года – величина нагона составляла 1,5 м.

Был проведен анализ для условий шторма 12–16 марта 1995 года. Величина нагона у северо-западного побережья Северного Каспия достигала 1,4 м, при этом у восточного побережья

наблюдался катастрофический сгон величиной до 2,2 м. Смоделированная ширина полосы затопления суши составляла около 25 км.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 18-05-80088\18.

АМПЛИТУДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛН ЦУНАМИ В АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ

Базыкина А.Ю., Фомин В.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия

aleksa.44.33@gmail.com

Ключевые слова: численное моделирование, цунами в Азовском и Черном море, цунамиопасность Азово-Черноморского побережья.

Вероятность возникновения в Азово-Черноморском бассейне такого природного явления, как цунами, на сегодняшний день возросла. Стало известно, что за последние 3000 лет произошло 50 случаев цунами в этом регионе. Основная часть из них была вызвана землетрясениями с эпицентрами в море. Несмотря на достаточно низкую интенсивность волн цунами в Черном и Азовском морях, не стоит недооценивать их потенциальную угрозу для населения прибрежных районов. В связи с плотной застройкой всего Азово-Черноморского побережья и развитием здесь курортно-туристических зон, возникает необходимость в проведении анализа цунамиопасности этого региона, что стало возможным с применением численных методов.

В настоящей работе представлены результаты численных экспериментов распространения волн цунами из эллиптических возвышений, расположенных в разных частях Азовского и Черного морей. Очаги располагались в зонах наиболее вероятной сейсмической генерации цунами. Для каждого очага рассчитаны максимальные возвышения уровня моря и скорости течений вдоль берегов Черного и Азовского морей, а также время добегания

волн из зоны генерации до различных участков побережья. В результате анализа численных экспериментов выявлены участки побережья, наиболее подверженные воздействию волн цунами, вызванных подводными землетрясениями. Показано изменение амплитудных характеристик волн в зависимости от формы начального возвышения уровня моря и от его расположения.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей» (шифр «Прибрежные исследования»).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ХОЛОДНОЙ АНОМАЛИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ В СЕНТЯБРЕ 2014 Г. СОВМЕСТНОЙ МОДЕЛЬЮ WRF-NEMO

Барабанов В.С.

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

Ключевые слова: моделирование, Черное море, температура поверхности, совместная модель.

Долгоживущие аномалии температуры поверхности Черного моря, возникающие в осенний период при вторжениях холодных воздушных масс, представляют большой практический и научный интерес. Ранее был рассмотрен случай развития значительной холодной аномалии в сентябре 2014 г., когда по спутниковым данным температура за 1–2 дня опустилась на 4–5°C, с использованием модели WRF с подключенным океаническим модулем RWP. В настоящей работе тот же случай моделировался совместной моделью WRF-NEMO с целью уточнения физических механизмов формирования долгоживущих холодных аномалий и проверки возможности регионального прогнозирования состояния атмосферы и моря.

Совместная модель состояла из мезомасштабной атмосферной модели WRF-ARW версии 3.7.1, морской модели NEMO версии 3.6 и системы поддержки совместной работы OASIS. Использовался один домен с пространственным шагом сетки 10 км; по вертикали число уровней составляло 30 для атмосферы и 31 для моря. Обмен данными проводился каждые 2 ч, при этом от морской модели в атмосферную передавались температура поверхности моря (ТПМ) и скорости течений, а обратно – потоки тепла, влаги и напряжения трения ветра. Начальные и граничные данные для атмосферной модели основывались на реанализе FNL.

Результаты совместного моделирования на 7 сут. с 21 по 27 сентября 2014 г. следующие. В период с 21 по 23 сентября расчетная ТПМ по всей акватории была от 17 до 24°C. К концу этого периода синоптическую ситуацию определял интенсивный циклон с центром севернее Крыма, который вызвал вторжение холодных воздушных масс. К 18:00 UTC 23 сентября расчетная скорость северо-восточного ветра поднялась в западной части моря до 20 м/с. 24 сентября в первые несколько часов произошло резкое падение ТПМ в районе юго-восточнее Крыма (с 19 до 12°C в точке около 36,5° в. д., 43,5° с. ш., где падение было максимальное). 25 сентября в районе 35–37° в. д. и 43–44° с. ш. ТПМ не превышала 13°C, в то время как в западной части моря и на юге она была не ниже 19°C. Сформировавшаяся область пониженной ТПМ просуществовала до конца расчетного периода. Сравнение расчетных полей приводного ветра, полученных на основе совместной модели и модели WRF с фиксированной ТПМ показывает значительные различия в направлении ветра в области холодной аномалии.

Численное моделирование на базе совместной модели в описанной конфигурации позволяет получить состояние атмосферы и моря в регионе, близкое к реально наблюдавшемуся. Для регионального краткосрочного прогноза состояния атмосферы на базе мезомасштабного моделирования случаи холодных вторжений с формированием значительных аномалий в ТПМ требуют использования совместных моделей.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВОЛНОВОЙ ДИНАМИКИ В НЕОДНОРОДНОМ ОКЕАНЕ

Булатов В.В., Владимиров Ю.В.

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

Ключевые слова: внутренние, поверхностные гравитационные волны, неоднородный океан, асимптотические методы.

Доклад посвящен изложению фундаментальных проблем математического моделирования волновой динамики океана. В докладе представлены основные математические модели, описывающие процессы возбуждения и распространения внутренних и поверхностных гравитационных волн в стратифицированных по вертикали, неоднородных по горизонтали и нестационарных средах, изложены асимптотические методы, являющихся обобщением пространственно-временного лучевого метода (метода геометрической оптики, метода ВКБ). Внутренние и поверхностные гравитационные волны изучаются уже достаточно давно, и по данной тематике опубликовано значительное число работ. В настоящее время возникают новые направления в математическом исследовании этих волн. Во-первых, стало понятным, что в поле внутренних и поверхностных волн могут появляться аномально большие короткоживущие волны-убийцы, природа которых напоминает природу волн-убийц на поверхности моря. Во-вторых, сдвиговые течения внутренних волн приводят к большим изгибающим моментам на опоры морских платформ, что уже приводит к деформации подводных технологических конструкций в ряде районов Мирового океана. В стадии разработки находится система мониторинга интенсивных внутренних и поверхностных волн (аналогичная системе мониторинга цунами), которая основана на фундаментальных результатах математического моделирования волновой генерации. В-третьих, внутренние волны способны вызвать транспорт донных наносов в глубоководных районах, где эффект поверхностных волн на дно минимален. Наконец, классические

задачи гидродинамики о взаимодействии внутренних и поверхностных гравитационных волн по-прежнему остаются актуальными. На распространение внутренних и поверхностных гравитационных волн существенное влияние оказывают как неоднородность и нестационарность гидрофизических полей, так и изменение рельефа дна. При этом точные аналитические решения основных волновых задач получаются только в случае, если распределение плотности морской воды (рельеф дна) описываются достаточно простыми модельными функциями. Когда характеристики океанической среды (форма профиля дна) произвольны, можно построить только численные решения соответствующих задач. Однако последнее не позволяет качественно анализировать характеристики волновых полей, особенно на больших расстояниях, что необходимо для решения, например, проблемы обнаружения внутренних волн дистанционными методами, в том числе с помощью средств аэрокосмической радиолокации. В этом случае описание и анализ волновой динамики можно осуществить только на основе асимптотических моделей и аналитических методов их решения, изложенных в докладе. Построенные математические модели волновой динамики позволяют описывать поля внутренних и поверхностных волн для реальных гидрофизических параметров сред. Универсальный характер предложенных асимптотических методов моделирования волновой динамики позволяет не только эффективно рассчитывать волновые поля, но и, кроме того, качественно анализировать полученные решения. Тем самым открываются широкие возможности анализа волновых картин в целом, что важно и для правильной постановки математических моделей волновой динамики, и для проведения экспресс оценок при натурных измерениях волновых полей. Особая роль разработанных асимптотических методов обусловлена тем обстоятельством, что основные параметры природных стратифицированных сред (океан, атмосфера), как правило, известны приближенно, и попытки их точного численного решения по исходным уравнениям гидродинамики с использованием таких параметров могут привести к заметной потере точности получаемых результатов. Помимо фундаментального интереса построенные математические

модели представляют значительную ценность для практики, поскольку позволяют решать задачи моделирования волновых гидродинамических полей в широком классе приложений.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ

Владимирова О.М.¹, Еремина Т.Р.¹, Исаев А.В.²,
Рябченко В.А.³, Савчук О.П.^{3,4}

¹РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия,

²ИО РАН, г. Москва, Россия,

³Институт наук о Земле СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

⁴Балтик Нест институт, Центр Балтийского моря Стокгольмского университета, Стокгольм, Швеция
3256767@gmail.com

Ключевые слова: растворенное органическое вещество, модель SPBEM, Финский залив.

Эвтрофикация Финского залива определяется поступлением азота и фосфора непосредственно с водосбора залива, водообменом с Балтийским морем, а также транспортом вещества между различными районами залива, внутренними химическими и биологическими процессами. Хорошо известно, что наряду с минеральными формами азота и фосфора, в водную среду поступают их органические компоненты. Значительная часть поступающих с речными водами питательных веществ, представлена в растворенной органической форме (Deutsch и др., 2012). Исследования показали, что растворенное органическое вещество играет значительную роль в функционировании экосистемы Балтийского моря (HELCOM, 2010). В существующих моделях экосистемы для Балтийского моря органическое вещество представлено только в виде детрита, что подразумевает использование коэффициента биодоступности для биогенной нагрузки, поступающей с речным стоком. Это приводит к занижению поступающей нагрузки по сравнению с определяемыми ХЕЛКОМ значениями.

Целью данной работы является усовершенствование модели SPBEM путем добавления переменных, отвечающих за перенос и биогеохимические трансформации растворенных форм органического вещества.

Расчетная область покрывает Финский залив от Невской губы до меридиана 24.08° в. д., где расположена жидкая граница. Горизонтальное разрешение сферической сетки составляет $2'$ по широте и $4'$ по долготе (~ 2 морских мили), вертикальное разрешение в z -координатной области – 3 м от поверхности до дна. Период расчета – 2009–2014 годы.

Проведенное сравнение результатов моделирования с данными наблюдений показало, что усовершенствованная модель достаточно хорошо воспроизводит пространственно-временную изменчивость как гидрофизических, так и биогеохимических характеристик экосистемы Финского залива. Несмотря на некоторые расхождения между модельными оценками и данными наблюдений для общего содержания азота и фосфора показано, что данное расхождение вызвано ошибками в воспроизведении концентраций минеральных форм, в то время как органические составляющие воспроизведены наиболее близко к данным наблюдений. Показано общее сходство пространственно-временной изменчивости органического азота (TON) и фосфора (TOP) между наблюдаемыми и модельными результатами, как по особенностям распределения, так и по концентрациям. Основываясь на полученных результатах, сделан вывод о необходимости учета в модели эвтрофикации Балтийского моря растворенного органического вещества, с целью оценки влияния растворенной органики на процесс эвтрофикации.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЯХ ЧЁРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Гиппиус Ф.Н., Мысленков С.А.

*МГУ, г. Москва, Россия
fedor.gippius@gmail.com*

Ключевые слова: Чёрное море, ветровое волнение, модель SWAN, реанализ NCEP-CFSR.

Будучи одним из наиболее выраженных проявлений взаимодействия океана и атмосферы, ветровое волнение представляет интерес для исследований как в фундаментальных, так и в прикладных областях науки и техники. Волнение влияет на энергообмен между атмосферой и океаном, трансформацию побережий, перемещение влекомых наносов. С прикладной точки зрения волнение рассматривается и как опасность в случае сильных штормов, и как перспективный источник возобновляемой энергии.

Работа посвящена исследованию климатических особенностей ветрового волнения в прибрежных акваториях Чёрного моря. Параметры ветровых волн рассчитывались с применением численной волновой модели SWAN на основе данных о ветре из метеорологического реанализа NCEP-CFSR и NCEP-CFSv2. Расчёты велись для периода с 1979 по 2016 гг. При расчётах использовалась оригинальная неструктурная расчётная сетка, шаг которой зависит от удаления от берега и изменяется от 10–15 км в открытом море до 200–500 м в прибрежных акваториях. Результаты моделирования верифицированы с применением данных волномерного буя Datawell, установленного в районе г. Геленджик, а также данных спутниковой альтиметрии.

Основные результаты работы построены на анализе многолетних рядов данных о ветровом волнении в 12 точках, равномерно распределенных вдоль побережья Чёрного моря и расположенных вблизи от городов Сочи, Геленджик, Кацивели, Варна, Зонгулдак, Синоп, Гиресун, Хопа, а также у входа в Керченский

пролив и пролив Босфор, в районе нефтедобывающих платформ на Голицынском месторождении и у побережья Румынии.

На основе указанных рядов выполнена оценка межгодовой и сезонной изменчивости основных параметров ветровых волн – высоты значительных волн, направления, длины и периода. Для каждой из точек определены статистические параметры ветровых волн – экстремумы, средние значения и величины различной обеспеченности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проектов №16-35-00488 и № 17-05-41153.

ОПЕРАТИВНАЯ ОКЕАНОГРАФИЯ СЕВЕРОВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ: ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРАВНЕНИИ С ДАННЫМИ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

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

¹ГОИН, г. Москва, Россия

²ИО РАН, г. Москва, Россия

³ВНИИГМИ-МЦД, г. Обнинск, Россия

⁴МГИ, г. Севастополь, Россия

⁵МФТИ, г. Долгопрудный, Россия

ag-privat@mail.ru

Ключевые слова: Черное море, оперативная океанография, численное моделирование, натурные измерения, сравнение данных, оценки точности моделирования, реанализ данных.

Приводятся результаты моделирования термохалинной структуры и течений вод северо-восточной части Черного моря на основе общесейсической (МГИ) и региональной (РОМ) численных моделей, совмещенных с использованием технологии «вложенных сеток». Модельные расчеты сравниваются с данными наблюдений на морских гидрометеостанциях (ГМС) российского Кавказского побережья и данными заякоренного зондирующего

комплекса «Аквалог» Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, установленного в прибрежной зоне в районе Геленджика. Приводятся количественные оценки точности модельных расчетов по общепобереговой (горизонтальное разрешение ~ 5 км) и региональной (горизонтальное разрешение ~ 1 км) моделям в сравнении с данными натурных наблюдений.

Результаты расчетов с использованием региональной модели имеют преимущество в физической адекватности и точности прогнозов перед аналогичными расчетами по общепобереговой модели. Модельные значения температуры поверхности моря имеют достаточно высокую точность и коррелированность по отношению к наблюдениям. Аналогичные оценки для солености оказываются неудовлетворительными, что обусловлено некорректностью использовавшегося алгоритма усвоения данных спутниковой альтиметрии в мелководной прибрежной зоне. Степень физической адекватности моделирования и точности прогнозов солености в районе постановки комплекса «Аквалог» заметно выше, нежели в непосредственно прибрежной зоне. Прогноз температуры и среднесуточных значений модуля и направления вектора течений, выполненный посредством региональной модели, превосходят по качеству инерционный прогноз.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ-РГО 17-05-41089.

АНАЛИЗ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЭКОСИСТЕМЫ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Дорофеев В.Л., Сухих Л.И.

МГИ, г. Севастополь, Россия
viktor.dorofeev@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Черное море, морская экосистема, численное моделирование.

В работе представлены результаты анализа эволюции нижнего пищевого уровня экосистемы Черного моря, выполненного на основе численного моделирования. Трехмерная модель экосистемы Черного моря описывает биогеохимические процессы в верхнем двухсотметровом слое. Модель имеет горизонтальное пространственное разрешение 4,8 км и 18 вертикальных расчетных уровней. Биогеохимическая часть модели включает 15 переменных состояния, эволюция каждой из которых описывается уравнением типа переноса-диффузии. В качестве коэффициентов этих уравнений используются скорости течений, коэффициенты турбулентной диффузии, температура морской воды и соленость, которые заранее рассчитываются по модели циркуляции (*off-line mode*). Единственным биогенным элементом в системе, ограничивающим рост фитопланктона, является азот.

Расчет эволюции экосистемы Черного моря проведен на 19 лет (1998–2016 гг.). Для повышения качества получаемых полей при расчете используется ассимиляция данных спутниковых измерений. Это поля поверхностной концентрации хлорофилла-а. Они представляют собой двухнедельные композиции, подготовленные ранее на основе продуктов *SeaWifs*, *MODIS* и *MERIS* по разработанному специально для Черного моря алгоритму (Суслин и др.). Процедура ассимиляции основана на принципе релаксации полей, полученных по модели, к данным, подготовленным по изображениям цветковых сканеров.

Качество полученных в результате моделирования полей оценивалось с помощью Океанографической базы данных, содержащей контактные измерения концентрации растворенного кислорода, нитратов и хлорофилла. Оценивались средние и среднеквадратичные отклонения модельных значений от измеренных. Эти оценки показали, что модельные поля достаточно хорошо воспроизводят сезонную изменчивость и вертикальную структуру рассматриваемых полей.

ИЗУЧЕНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФИЗИЧЕСКОГО РЕАНАЛИЗА

Дорофеев В.Л., Сухих Л.И.

МГИ, г. Севастополь, Россия
viktor.dorofeev@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Черное море, численное моделирование, реанализ, морские течения.

В работе представлены результаты анализа динамики Черного моря, полученные по результатам численного моделирования. Используемая модель циркуляции имеет горизонтальное пространственное разрешение 4,8 км и 40 вертикальных расчетных уровней, что позволяет достаточно точно описывать, помимо крупномасштабных, синоптические процессы. Для более аккуратного описания термодинамических процессов в деятельном слое моря, особенно процессов вертикального обмена, к модели циркуляции была добавлена турбулентная модель. Она представляет собой модель квазиравновесной турбулентной энергии *QETE*, входящей в семейство моделей Меллора-Ямады, состоящая из двух уравнений эволюции турбулентной энергии и масштаба турбулентности. Для постановки граничных условий на свободной поверхности моря для уравнений модели циркуляции и турбулентной модели использовались параметры атмосферного воздействия, полученные по результатам атмосферного реанализа *ERA-Interim*.

Для повышения достоверности получаемых при моделировании гидродинамических полей в работе используется ассимиляция данных наблюдений. Это спутниковые измерения температуры поверхности моря (ТПМ) и аномалии возвышения свободной поверхности, а также и среднегодовые профили температуры и солёности, полученные по данным контактных измерений, на которые наложен сезонный ход.

Расчет проведен на 24 года (1993–2016 гг.). Для оценки качества полученных полей была проведена валидация результатов расчета. Для этого полученные результаты сравнивались с данными гидрографических измерений. Использовался набор данных измерений температуры и солёности по съемкам, проведенным в Черном море с 1993 года. Поля температуры и солёности, полученные в расчете, интерполировались по пространству и времени в те точки и моменты времени, в которых имелись измеренные профили. После этого были построены средние для каждого сезона и для всего массива данных профили средних и среднеквадратичных ошибок. Валидация показала, что полученные результаты в целом достаточно хорошо описывают реальную термохалинную структуру моря. На основе полученных трехмерных массивов гидродинамических полей был проведен анализ структуры циркуляции вод Черного моря и ее изменчивости.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ДАННЫХ О ТОПОГРАФИИ ДНА

Дымова О.А., Миклашевская Н.А.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
olgadym@yahoo.com*

Ключевые слова: Черное море, моделирование, батиметрия, температура, соленость, течения, данные наблюдений.

В работе представлены результаты двух численных экспериментов по моделированию циркуляции Черного моря, выполненных с помощью модели Морского гидрофизического института (МГИ). В качестве атмосферного форсинга использованы данные реанализа SKIRON за 2011 г. Отличие между экспериментами заключалось в использовании различной батиметрии. В первом эксперименте топография дна задавалась в соответствии с базой данных МГИ с разрешением 15 км по горизонтали. Во втором – построена на основе массива глубин Европейской Сети морских наблюдений и данных EMODnet (<http://portal.emodnet-bathymetry.eu>) с разрешением 1/8'. Рассчитаны поля термогидродинамических характеристик, которые сопоставлены с натурными наблюдениями.

Сопоставление результатов двух численных экспериментов выявило следующие различия между ними. В эксперименте 2 скорости Основного черноморского течения (ОЧТ), Севастопольского и Батумского антициклонов уменьшаются по сравнению с их скоростями, полученными в эксперименте 1. При этом размеры самих антициклонов увеличиваются, а их географическое положение изменяется. При использовании более точных топографических данных ширина ОЧТ уменьшается, а меандрирование в летний период усиливается. В эксперименте 2 в районе Крымского и Анатолийского побережий наблюдается образование большего количества мезомасштабных вихрей. Начиная с середины апреля, в эксперименте с более грубым

пространственным разрешением дна внутри ОЧТ появляется долгоживущий антициклонический круговорот, который отсутствует в результатах эксперимента 2. Карты полей реконструированных течений были сопоставлены со спутниковыми снимками, полученными с использованием ИСЗ MODIS и NOAA. Сравнение показало, что более точно циркуляция в Черном море воспроизведена во втором эксперименте с использованием массива глубин EMODnet.

Для оценки точности результатов моделирования гидрофизические поля сравнивались с данными контактных наблюдений. Модельные температура и соленость были сопоставлены с измерениями трех буев ARGO (№№ 1901200, 6900803, 7900466). Рассчитаны средние вдоль траектории буев отклонения между модельными и измеренными значениями для всех профилей на горизонтах, соответствующих вертикальным уровням модели. Анализ показал, что в верхнем 100 м слое отклонение температуры от измерений в среднем уменьшается в 2 раза для эксперимента 2 и составляет примерно 1,5°C. Ошибка моделирования солености в эксперименте 2 уменьшается в среднем в 1,8 раза и равна 0,4‰ в слое 0–100 м. Ниже 300 м данные экспериментов 1 и 2 отличаются менее чем на 20% друг от друга. При этом среднее отклонение от измерений составляет около 0,06°C для температуры и 0,04‰ для солености.

Сравнение гидрофизических полей, рассчитанных в двух экспериментах, с натурными наблюдениями показало, что использование современных высокоточных данных о глубинах Черного моря позволяет корректнее воспроизвести термогидродинамические характеристики циркуляции. Можно предположить, что более точный учет неоднородностей рельефа дна приводит к перераспределению энергии за счет усиления диссипативных процессов, что, в свою очередь, влечет за собой ослабление бассейновой циркуляции и усиление мезомасштабной изменчивости.

Работа выполнена в рамках гос. задания по теме № 0827-2018-0003.

ФОРМИРОВАНИЕ КЛИМАТА ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Ефимов В.В.

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

Ключевые слова: атмосферная циркуляция, наблюдения, реанализ, климат.

Климат южного берега Крыма (ЮБК) – узкой прибрежной полосы вдоль южного склона Крымских гор от мыса Фиолент до Алушты и склон до высоты 200 м над уровнем моря – определяется как субсредиземноморский, значительно отличающийся от климата других частей полуострова. Наиболее характерным отличием является относительно теплая зима. Так температура воздуха наиболее холодного месяца – февраля – в Ялте составляет 4°C, а абсолютный минимум температуры –12,3°C, в то время как в равнинном Симферополе среднемесячная температура составляет 0,4°C, а абсолютный минимум –30,3°C. Такие различия, вероятнее всего, связаны с наличием гор, но не с приморским положением Ялты по сравнению с удаленным от моря Симферополем: в приморских городах, таких как Севастополь или Керчь, также наблюдаются более суровые зимы.

Влияние гряды Крымских гор на климат ЮБК является общепринятым представлением. Указывается, что горы являются барьером на пути прохождения холодного северного воздуха, что они создают условия развития облачности над северными склонами гор и опускания теплого сухого воздуха летом над южными склонами – явление фена, отмечается формирование микроклимата в отдельных областях ЮБК. Однако эти представления, как правило, носят качественный характер. Среди первых численных оценок особенностей циркуляции, связанных с наличием гор, отметим моделирование бризовой циркуляции в летний период и ялтинской боры в зимний период.

В докладе рассматриваются климатические характеристики температуры в районе южного берега в сравнении с равнинными

областями Крыма. Произведен анализ данных измерений температуры и ветра на ГМС Ялта, Аэропорт Симферополь и Ай-Петри. Показано, что для случаев достаточно сильных ветров северного и северо-западного направления (близкого к нормальному по отношению к горному хребту) в зимние месяцы температура в Ялте всегда выше, чем в Симферополе, причем разница температур увеличивается с уменьшением температуры в Симферополе. При этом по данным климатического реанализа разница температур между равнинными областями и районом южного берега увеличивается при увеличении скорости ветра северного направления и уменьшается для ветра южного направления, что указывает на влияние Крымских гор на климат южного берега. Модельный расчет атмосферной циркуляции региона для случая северного ветра в зимний период позволил воспроизвести гидродинамические характеристики полей скорости и температуры, описывающие физический механизм смягчения зимнего климата южного берега Крыма. Показано, что этот механизм связан с блокированием воздушного потока на северном наветренном склоне гор и замещением его на подветренном южном склоне более теплым воздухом из верхних слоев атмосферы.

ГЛОБАЛЬНАЯ СИСТЕМА УСВОЕНИЯ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ С МОДЕЛЬЮ NEMO И ТРЕХМЕРНОЙ ВАРИАЦИОННОЙ СХЕМОЙ АНАЛИЗА

Зеленько А.А., Струков Б.С., Реснянский Ю.Д.

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

Ключевые слова: усвоение данных, вариационная схема, модель NEMO.

Одной из основных задач оперативной океанологии является получение оценки текущего состояния океанографических полей. общепризнанным способом определения такого состояния является применение тех или иных процедур усвоения данных.

В системе усвоения океанографических данных (СУОД), развиваемой в Гидрометцентре России, в качестве прогностической модели используется одна из наиболее активно развивающихся моделей общей циркуляции океана – модель NEMO в конфигурации ORCA1 с включенной в нее моделью морского льда LIM3. В этой конфигурации расчеты осуществляются на трехполосной сетке, имеющей разрешение $1^\circ \times 1^\circ$ в средних широтах и особым расположением узлов в северной приполярной области, где горизонтальное разрешение составляет приблизительно 50 км.

Усвоение данных осуществляется по циклической схеме «анализ-прогноз-анализ» в одноэлементном ее варианте, в котором последовательно усваивается информация о вертикальных распределениях температуры воды, ее солености (данные Argo), уровню моря (спутниковая альтиметрия) и сплоченности морского льда (данные центра IFREMER) без непосредственного учета их связей между собой и с другими элементами. Такая связь устанавливается лишь опосредовано, через взаимозависимость различных переменных в расчетной модели.

Для температуры и солености анализ проводится с использованием трехмерной вариационной схемы 3D-Var на регулярной 1-градусной сетке на 21 модельном уровне от 10 м до 1400 м. Пространственные ковариации поля ошибок первого приближения, являющиеся ключевым элементом вариационного анализа, задаются обобщенной на пространственный случай моделью авторегрессии и скользящего среднего (АРСС) – ПАРСС (Tsyulnikov et al., 2006; Цырульников и др., 2010). Данные по уровню моря и сплоченности морского льда усваиваются по релаксационной схеме, «притягивающей» модельные поля к наблюдаемым распределениям.

Период цикла усвоения может варьироваться от 1 до 10 суток. Инкременты анализа, получаемые в результате минимизации целевой функции, представляют собой поправки, которые в последовательной циклической схеме следует добавить к модельным полям. Эти поправки вводятся частями методом дробных инкрементов (IAU – Incremental Analysis Updates) на каждом шаге повторного интегрирования модели от начальных условий с предыдущего цикла усвоения.

Настройка параметров системы усвоения осуществлялась на основе серии численных экспериментов по данным за 2001–2014 гг. На основе выходной продукции СУОД получены оценки относящихся к этому периоду линейных трендов, частотных спектров колебаний гидрологических и динамических характеристик океана, структуры эмпирических ортогональных функций (ЭОФ) и временной изменчивости коэффициентов разложения по ЭОФ.

По результатам анализа настроечных численных экспериментов сформирована оперативная версия СУОД. В этой версии усвоение осуществляется с 1-суточным временным окном, позволяющим поддерживать ежедневный выпуск продукции.

На следующем этапе развития СУОД планируется усовершенствовать схему анализа, в которой будут учтены взаимосвязи между сбалансированными частями анализируемых полей.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ БАРОТРОПНЫХ ВОЛН В ШЕЛЬФОВЫХ РАЙОНАХ ЧЕРНОГО МОРЯ

Иванов В.А., Шульга Т.Я., Пластун Т.В., Свищева И.А.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
shulgaty@mail.ru*

Ключевые слова: Черное море, Анатолийское побережье, фазовая скорость, захваченные волны, гидродинамическое моделирование, спектральный анализ.

Выполнено исследование особенностей генерации длинноволновых колебаний на шельфе Черного моря. Согласно современному представлению, они играют важную роль во многих процессах береговой динамики, таких как перенос осадочного материала, формирование структуры береговой линии и прибрежного рельефа, прибойные биения, и часто рассматриваются

как определяющий фактор эволюции береговой линии при формировании ритмических форм рельефа. Крупномасштабные краевые волны являются важной компонентой морских волн и наводнений, производимых циклонами, движущимися вдоль береговой линии.

Определено влияние рельефа дна на пространственно-временные параметры низших мод шельфовых волн на основе решения полной краевой задачи с использованием разработанных алгоритмов конечно-разностной аппроксимации. Для модельных и реальных профилей дна Анатолийского побережья Черного моря представлены теоретические оценки параметров захваченных волн, построены дисперсионные кривые нулевых волновых мод. Исследовано положение точек затухания волны и максимумов амплитуд уровня в зависимости от особенности топографии пограничной области (в зоне шельфа и континентального склона). Представлены результаты расчета пространственно-временных параметров шельфовых волн нулевой моды для профилей, расположенных в районе Анатолийского побережья.

В работе обсуждаются результаты численных расчетов, проведенных в рамках региональной модели циркуляции Черного и Азовского морей Института вычислительной математики РАН. Трехмерная модель основана на системе примитивных уравнений гидродинамики океана, записанной в приближениях несжимаемости, гидростатики и Буссинеска. Пространственное разрешение модели по долготе и широте составляет $(0^\circ 3') \times (0^\circ 2' 24'')$, шаг расчета по времени 5 мин. По вертикали задается 40 неравномерно распределенных по глубине σ -уровней. Для расчета климатического атмосферного воздействия в модели используются данные *CORE* с пространственным разрешением по долготе 1.825° и неравномерным шагом по широте. Интегрирование уравнений движения в экспериментах выполняется от нулевых начальных условий в течение 2 лет. Исходными данными для моделирования исследуемой области является рельеф дна Черного моря, представленный файлом глубин <http://www.gebco.net> с пространственным разрешением $0,5^\circ$.

Результаты моделирования анализируются для десяти местоположений в районе Анатолийского побережья, представляющих

собой профили, проходящие из шельфовой зоны в глубоководную часть Черного моря. По данным климатического расчета для 50 станций, расположенных на этих профилях, были рассчитаны спектры колебаний уровня моря с помощью быстрого преобразования Фурье. Получено, что колебания уровня моря на полусуточном периоде для всех спектров обладают максимальной амплитудой.

Показано, что абсолютный максимум профиля волны первой моды достигается у берега и над кромкой шельфа. Увеличение ширины континентального склона приводит к более медленному затуханию волны в сторону открытого моря. Установлено, что наиболее устойчивы длинноволновые процессы в районе мыса Инджебурун, где они связаны с проявлением нулевой моды захваченных краевых волн.

Работа выполнена в рамках государственного задания 0827-2018-0004.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ДАВЛЕНИЯ В МОДЕЛИ ШЕРМАНА С ИСТОЧНИКОМ, РАСПОЛОЖЕННЫМ ВБЛИЗИ УПРУГОЙ ГРАНИЦЫ

Калинюк И.В.¹, Маленко Ж.В.^{2,3}, Ярошенко А.А.^{2,3}

¹*Институт сейсмологии и геодинамики КФУ, г. Симферополь, Россия*

²*КФ ГМУ, г. Севастополь, Россия*

³*СевГУ, г. Севастополь, Россия
isgik@mail.ru*

Ключевые слова: мелкое море, волновод, нормальные волны, консолидированные осадки, акустическое поле, частота.

В работе рассмотрена двухслойная модель мелкого моря (модель Шермана) в радиально-симметрической цилиндрической системе координат с плоскопараллельными границами. Выполнен расчет акустического поля давления для источника, расположенного вблизи упругой границы.

Произведен расчет поля акустического давления, рассмотрены дисперсионные характеристики нормальных волн для трехслойной модели волновода со слоем слабо консолидированных морских осадков. Решение этой задачи представлено в виде суммы нормальных волн.

На больших расстояниях акустическое поле давления от источника, расположенного вблизи упругой границы и при условии равенства нулю сдвиговых волн совпадает с формулой, полученной Пекерисом для двухслойной модели среды с источником на границе «вода – жидкое полупространство». С увеличением глубины или частоты источника, амплитуды нормальных волн старших номеров значительно преобладают над другими модами и вносят основной вклад в акустическое поле.

В дальней зоне при расположении источника вблизи упругой границы акустическое поле определяется суммой нормальных волн с коэффициентами возбуждения, зависящими от оператора Релея.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МОРЕЙ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАТФОРМЫ NEMO

Калюжная А.В., Бухановский А.В.

*Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, Россия
kalyuzhnaya.ann@gmail.com*

Ключевые слова: NEMO, Арктика, вложенная сетка, открытые граничные условия, разгон модели, восстановление льда.

Моделирование арктического океана – сложная вычислительно-интенсивная задача, которая часто требует применения моделей разных масштабов.

Чтобы получить модель океана с высоким разрешением для арктического региона, прямое увеличение разрешения глобальной сетки океанических моделей возможно только до определенного предела. Слишком малый размер ячейки может привести к нестабильности результатов моделирования, в особенности на

длительных временных интервалах (десятки лет). В связи с этим, для сокращения времени вычислений и одновременного увеличения пространственного разрешения и стабильности часто используются регионально-локализованные версии моделей, которые могут быть получены в виде моделей на вложенных сетках.

В случае, когда для моделирования арктического региона с высоким разрешением используются вложенные сетки, требуется обеспечение возможности оптимального размещения вложенной сетки в пределах исходной (более крупномасштабной) сетки, чего трудно достичь в структурированных схемах вложенности. Поэтому, в рамках доклада рассматривается гибкий подход к проблеме вычислений на вложенных сетках с использованием платформы NEMO, позволяющий обеспечить баланс качества и времени вычислений и, как следствие, возможность его использования для долгосрочного моделирования.

По сравнению с глобальными моделями, региональные модели требуют наличия дополнительных входных данных – боковых граничных условий, которые могут быть получены из реанализов или климатологических баз данных. Однако, применение региональной модели вводит новый источник нестабильности – открытые граничные условия. В рамках доклада описываются улучшенные граничные условия для льда и трассиров, позволяющие реализовать корректное взаимодействие вложенных сеток через открытую границу.

Особенно значимой частью процесса моделирования морей российской Арктики является моделирование динамики ледяного покрова. В контексте данной работы было выполнено исследование влияния длительности разгона модели на результирующее качество моделирования льда. Также разработан алгоритм восстановления льда по данным спутниковых наблюдений на основе теплового потока, который позволяет значительно улучшить результаты моделирования льда и уменьшить длительность разгона модели.

ПРОЦЕССЫ ПРОТРУЗИИ И ОТРЫВА ПРИБРЕЖНЫХ АНТИЦИКЛОНИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПЕРЕНОС ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ЧЕРНОМ МОРЕ

Коротенко К.А.

*ИО РАН, г. Москва, Россия
kkorotenko@mail.ru*

Ключевые слова: прибрежные антициклонические вихри (ПАЦВ), процессы генерации, протрузии и отрыва ПАЦВ, численное моделирование, Черное море.

Вихреразрешающая (1/30)^o версия слабо-диссипативной модели DieCAST использована для моделирования процессов протрузии прибрежных антициклонических вихрей (ПАЦВ) в Основное черноморское течение (ОЧТ). При средне-климатическом форсинге модель реалистично воспроизводит эволюцию Кавказского ПАЦВ (КПАЦВ) от его зарождения, возбуждения антициклонического меандра в струе ОЧТ, прохождения через ОЧТ до его отрыва и диссипации в восточном циклоническом круговороте. Рассмотрен также процесс двойной протрузии КПАЦВ и Кизил-Ирмакского ПАЦВ, их прохождения через ОЧТ и слияние в восточной части Черного моря.

Пространственно-временные параметры эволюции ПАЦВ при протрузии хорошо согласуются со спутниковыми наблюдениями.

Применение модели переноса нефти совместно с DieCAST позволило исследовать влияние процессов протрузии и отрыва ПАЦВ на характер распространения нефтяного загрязнения вдоль побережья Кавказа и оценить экологические последствия загрязнения берегов Крыма и Кавказа в результате возможного захвата нефти Кавказским ПАЦВ. При этом рассмотрены случаи возможных аварийных глубинных выбросов нефти в районах, где планируются интенсивная глубоководная разведка и добыча нефти.

ПРИМЕНЕНИЕ ВАРИАЦИОННОГО АЛГОРИТМА АССИМИЛЯЦИИ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В МОДЕЛИ ПЕРЕНОСА ПАССИВНОЙ ПРИМЕСИ

Кочергин В.С., Кочергин С.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
vskocher@gmail.com*

Ключевые слова: модель переноса, пассивная примесь, вариационный алгоритм, сопряженные уравнения, идентификация, входные параметры.

Все возрастающая нагрузка на окружающую среду требует создания и развития современных систем мониторинга экологической обстановки. Элементами таких систем, естественным образом, могут быть не только модели циркуляции вод, переноса и трансформации тех или иных загрязняющих веществ, но и современные, эффективные процедуры усвоения данных измерений и идентификации входных параметров численного моделирования. Поэтому, разработка и применение таких алгоритмов является в настоящее время важной и актуальной задачей.

В работе рассматривается модель переноса пассивной примеси для акватории Азовского моря. Входными параметрами для этой модели служат поля течений и коэффициенты турбулентной диффузии, полученные по модели при различном ветровом воздействии. Проведены численные эксперименты по идентификации начальных полей концентрации примеси и мощности возможных источников загрязнения. Рассматривается идентификация постоянно действующего и импульсного источника. Построенные алгоритмы основаны на минимизации квадратичного функционала качества прогноза при модельных ограничениях, решении сопряженных задач и поиске оптимальных итерационных параметров. На основе построенных алгоритмов проведены численные эксперименты с моделью переноса пассивной примеси в Азовском море. Результаты расчетов показали надежную работу вариационных процедур ассимиляции данных измерений,

достаточно быструю сходимость итерационных процессов. Применение метода оценки на основе метода сопряженных уравнений позволило существенно уменьшить используемые вычислительные ресурсы.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме 0827-2018-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей» (шифр «Прибрежные исследования»).

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОГО ШТОРМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ АНОМАЛЬНОГО ОСЕННЕ-ЛЕТНЕГО ЦВЕТЕНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА В 2015 ГОДУ

Кубряков А.А.¹, Зацепин А.Г.², Станичный С.В.¹

¹МГИ, г. Севастополь, Россия

²ИО РАН, г. Москва, Россия

arskubr@ya.ru

Ключевые слова: цветение фитопланктона, концентрация хлорофилла А, шторма, апвеллинг, диапикническое перемешивание, Био-Арго.

Четыре последовательных интенсивных шторма, наблюдавшиеся в августе 2015 г., вызвали возникновение аномально сильного цветения фитопланктона в центре восточной части Черного моря. Максимальная концентрация хлорофилла А в области цветения превышала 5 мг/м³ по сравнению с 0,6 мг/м³ в окружающих водах. Аномальное цветение наблюдалось в течение 3 месяцев: с августа по ноябрь. В работе на основе совместного анализа спутниковых и метеорологических данных, контактных измерений буев Арго с биооптическими датчиками исследуются причины этого аномального явления.

Цветение было вызвано совместными действиями трех физических факторов: интегральной экмановской накачки; локального

экмановского апвеллинга на периферии шторма; ветрового турбулентного вовлечения биогенных веществ в эвфотический слой.

Горы, окружающие Черное море, существенно влияют на пространственную структуру штормов, формируя зоны интенсивных ветровых струй и ветровой тени. Градиенты скорости ветра между областью сильных и низких ветров вызывают интенсивный локальный экмановский апвеллинг и подъем вод на левой периферии штормового ветра. Экмановская накачка вызывает интенсификацию циклонической циркуляции в бассейне и поднимает пикно-халоклин и хемоклин ближе к поверхности в центральной части циклонических круговоротов. Турбулентное ветровое перемешивание увеличивает толщину верхнего квази-однородного слоя после действия штормов.

Подъем фитопланктона из слоя его подповерхностного максимума и его перемешивание в ВКС послужил первой причиной увеличения концентрации хлорофилла А на поверхности. Кроме того, измерения буев Арго показали, что шторма вызвали значительное диапикническое перемешивание в верхнем 100-метровом слое. Это привело к смешению глубинных вод, богатых биогенами, и вышележащих слоев подповерхностного максимума фитопланктона. Такой процесс вызвал возникновение наиболее сильного роста концентрации хлорофилла А в тонком слое (~ 5 м) вблизи нижней границы его подповерхностного пика.

Наблюдающаяся до штормов динамическая топография хемоклина, определяемая синоптическими и крупномасштабными течениями, существенно повлияла на пространственную структуру цветения фитопланктона. Самый интенсивный рост концентрации хлорофилла А наблюдался в центральной части циклонического восточного круговорота и синоптических циклонах. В то же время в синоптических антициклонах рост хлорофилла А был подавлен. Вихревые орбитальные движения способствовали интенсивному горизонтальному переносу концентрации хлорофилла А в западную часть моря на значительное расстояние от эпицентра штормов.

Исследование влияния вертикального вовлечения вод на аномальное цветение выполнено при поддержке гранта РФФИ 16-35-60036 мол_а_дк. Обработка данных выполнена в рамках государственного задания ФАНО по теме № 0827-2018-0002

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕДОПРОДУКТИВНОСТИ ПОЛЫНЕЙ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ С ПОМОЩЬЮ ДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Кулаков М.Ю., Макштас А.П., Фролов И.Е.

*АНИИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
mod@aari.ru*

Ключевые слова: море Лаптевых, полыньи, ледообразование, динамическая термодинамическая модель.

Полыньи моря Лаптевых играют ключевую роль в бюджете морского льда Северного Ледовитого океана вследствие огромного объема льда, который образуется в них и переносится из моря в струе Трансполярного течения в пролив Фрама. Однако существующие оценки объема морского льда, образовавшегося в полыньях моря Лаптевых, варьируются в пределах от 50 км³ до 1000 км³ в зависимости от методики оценки. В нашем исследовании продуктивности полыней моря Лаптевых мы воспользовались динамической термодинамической моделью совместной циркуляции вод и льдов AARI–IOCM (Arctic and Antarctic Research Institute – Ice and Ocean Circulation Model) и атмосферным форсингом из NCEP/NCAR Reanalysis. Модель AARI–IOCM адаптирована ко всей акватории Северного Ледовитого океана и прилегающей части Северной Атлантики, что снимает проблему граничных условий для моря Лаптевых. С другой стороны, пространственное разрешение модели составляет всего 13,8 км, что представляется достаточным для воспроизведения полыней.

Расчеты производились с 1 сентября 2006 г. по 31 мая 2010 г. Общая ледопродуктивность моря подсчитывалась за период с октября по май, а ледопродуктивность в полыньях с ноября по апрель. Положение припая задавалось в соответствии с его фактическим положением.

Расчет ледопродуктивности производился по областям, аппроксимирующим основные полыньи моря Лаптевых: Северо-

восточная полынья, Таймырская полынья, Анабар–Лена полынья, Западная Новосибирская полынья.

Результаты расчетов продемонстрировали, что наибольшая скорость льдообразования приходится на периоды максимального развития полыней. Скорости льдообразования достигали 16 км^3 в сутки. Среднегодовое производство льда в полынях моря Лаптевых составило по результатам расчетов 380 км^3 . Эта величина, с одной стороны, находится в середине интервала существующих оценок, с другой стороны, подтверждает важную роль полыней моря Лаптевых в бюджете морского льда Северного Ледовитого океана.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований в рамках проекта 18-05-60048 «Исследование межгодовой изменчивости баланса морского льда Северного Ледовитого океана на рубеже XX и XXI веков».

ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ В ОХОТСКОМ МОРЕ: НАБЛЮДЕНИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ

**Куркин А.А., Куркина О.Е., Рувинская Е.А.,
Талалушкина Л.В., Гиниятуллин А.Р.**

*НГТУ, г. Нижний Новгород, Россия
aakurkin@gmail.com*

Ключевые слова: солитон, уравнение Гарднера, вращение, атлас наблюдений внутренних волн, придонная скорость.

Внутренние волны являются неотъемлемой частью динамики вод Мирового океана. Такие волны наблюдаются повсеместно, даже в арктических, субарктических областях. Сложно переоценить их влияние на процессы, происходящие в океане, такие как горизонтальный и вертикальный перенос импульса и энергии, турбулентное перемешивание, преобразование рельефа дна. Внутренние волны также влияют на биологическую продуктив-

ность морей, могут быть опасными для морских гидротехнических сооружений. Охотское море является крупной морской экосистемой с богатой флорой и фауной, на его шельфе разрабатываются месторождения углеводородов, поэтому актуальность исследования поля внутренних волн в этом регионе не вызывает сомнений.

Для Охотского моря характерна сложная структура баротропного прилива, при этом основные его компоненты имеют достаточно большую амплитуду почти во всей акватории. Еще одним потенциальным механизмом генерации короткопериодных интенсивных внутренних волн является водообмен между Охотским морем и Тихим океаном через глубоководные проливы, расположенные между островами Курильской гряды, такие как Буссоль и Крузенштерна – с достаточно большими подводными порогами и банками. Для систематизации сведений о спутниковых и натурных наблюдениях внутренних волн в исследуемой акватории сделан обзор опубликованных научных статей, по результатам которого создан электронный атлас для работы с базой данных наблюдений внутренних волн в Охотском море, который доступен на сайте нашей лаборатории (<https://lmnad.nntu.ru/ru/igwatlas/>). В рамках настоящего исследования также проведен спектральный и статистический анализ поля внутренних волн по записям, предоставленным СКБ САМИ ДВО РАН в рамках сотрудничества с НГТУ им. Р.Е. Алексева. Многосуточные измерения температуры и солёности проводились в южной части Охотского моря, в том числе вдоль островов Курильской гряды до пролива Фриза. Выявленные зоны генерации короткопериодных внутренних волн (в частности, солитоноподобные внутренние волны зафиксированы в проливе Фриза) также добавлены в электронный атлас. Стоит отметить, что количество наблюдений внутренних волн в Охотском море остается весьма ограниченным, а особенности структуры поля внутренних волн и эффекты их трансформации и обрушения в шельфовой зоне недостаточно изученными.

Для изучения особенностей трансформации бароклинной приливной волны на шельфе острова Сахалин (в зоне добычи углеводородов) выполнено моделирование этого процесса в рамках уравнения Гарднера (и Гарднера-Островского для качественной

оценки влияния вращения) для условий Охотского моря по данным климатического атласа GDEM. Показано, что волновое поле существенно зависит от сезона (зима-лето). Амплитуда генерируемых одиночных волн варьирует от 10 до 25 метров, а иногда в пикноклине формируются кинки с высотой до 70 метров. Учет вращения приводит к отсутствию солитонов в зимний период, а для условий лета генерируются лишь единичные солитоноподобные волны.

Обсуждается структура поля придонной скорости, а также вертикальная структура течений, индуцированных внутренними волнами. Показано, что возникающие скорости способны обеспечить транспорт донных осадков. Для нескольких участков восточного шельфа о. Сахалин по результатам моделирования генерации и распространения внутренних волн в рамках полных нелинейных негидростатических уравнений невязкой несжимаемой стратифицированной среды получены оценки воздействия волнового поля на цилиндрические опоры.

ТЕХНОЛОГИЯ РАСЧЕТОВ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В РАМКАХ СЛАБОНЕЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ

Куркина О.Е., Тюгин Д.Ю.

*НГТУ, г. Нижний Новгород, Россия
oksana.kurkina@mail.ru*

Ключевые слова: численные расчеты, слабонелинейная теория длинных внутренних волн.

Расчеты, связанные с моделированием внутренних волн в природных условиях, достаточно трудоемки, поскольку описываемые процессы – негидростатические, принципиально неоднородные, а среда, в которой происходит распространение волн, неоднородна, как по горизонтали, так и по вертикали, и при моделировании требуется высокое разрешение по пространственным координатам и по времени. Входными данными для

расчетов служат невозмущенные поля плотности морской воды, возможно также учитывать поля сдвиговых течений, состав баротропного прилива (как источник генерации), географическую широту акватории (при учете эффектов вращения Земли) и другие факторы. Использование разнородных данных из различных источников отнимает у исследователей много времени при проведении и верификации численных расчетов, а также повышает вероятность ошибки при организации и комбинировании этих данных вручную.

Современные тенденции в моделировании внутренних волн в океане связаны с построением трехмерных моделей, основанных на уравнениях Навье–Стокса с учетом турбулентности жидкости, наличием источников (атмосфера, солнечная радиация, приливные силы), сложной топографии берегов и батиметрии дна. В то же время для прогностических расчетов, когда требуется провести большое число расчетов с разными начальными и граничными условиями, возникает необходимость в разработке более простых экономичных моделей, что осуществляется за счет понижения размерности решаемых уравнений. Наиболее простой моделью, позволяющей описать распространение и трансформацию внутренних волн с учетом их нелинейности, является слабонелинейная модель для длинных внутренних волн, основанная на уравнениях типа Кортевега–де Вриза с учетом различных обобщений. И здесь необходим инструмент, интегрирующий в себе модели, данные, средства обработки данных для инициализации этих моделей, средства задания начальных условий, средства проведения расчетов, визуализации и обработки их результатов.

В лаборатории моделирования природных и техногенных катастроф НГТУ им. П.Е. Алексеева (<http://Imnad.nntu.ru/>) на протяжении более 10 лет ведется разработка программного комплекса IGWResearch для моделирования динамики внутренних волн с использованием открытых атласов гидрологических данных. Разрабатываемый новый вариант комплекса содержит методы, алгоритмы, средства обработки и визуализации в единой среде, что позволяет значительно сократить время и ресурсы, необходимые при проведении исследований внутренних волновых полей за счет автоматизации процессов подготовки численного экспери-

мента и обработки его результатов. Особое внимание при разработке программного продукта уделялось возможности расчета и анализа гидрофизических полей (негидростатического давления, вертикальной и горизонтальной скорости), возникающих при распространении стратифицированных потоков, индуцированных внутренними гравитационными волнами. Кроме того, в комплекс интегрированы инструменты решения простейших задач, решаемых с использованием этих полей: расчет траекторий движения нейтральных частиц, расчет силовых нагрузок на вертикальную опору, определение возможности начала движения частиц донных наносов и вероятности превышения предельных значений неразрывающих придонных скоростей. Также в комплексе имеется возможность справочного обращения к базе данных наблюдений внутренних волн (https://lmnad.nntu.ru/ru/igwatlas_map/).

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ КОЛЕБАНИЙ В АКВАТОРИЯХ СЕВАСТОПОЛЬСКИХ БУХТ

Лазоренко Д.И., Манилюк Ю.В., Фомин В.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
d.lazorenko.dntmm@gmail.com*

Ключевые слова: резонансные колебания, сейши в бухтах, модель ADCIRC, математическое моделирование.

Опасные морские явления в бухтах и гаванях в значительной мере связаны с возникновением резонансных колебаний (сейш), которые необходимо учитывать при проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации портов. Одним из таких опасных явлений, связанных с сейшевыми колебаниями, является тягун – интенсивные периодические течения, приводящие к столкновению судов между собой, разрыву швартовых, затрудняющие погрузочно-разгрузочные работы. В связи с этим актуальной является задача о прогнозировании условий возникновения тягуна.

Район Севастополя отличается наличием системы бухт различных конфигураций. На сегодняшний день условия возникновения в них сейшевых колебаний изучены недостаточно. Севастопольский регион имеет значительный потенциал развития, связанный с использованием его бухт. Поэтому исследование условий возникновения сейш в Севастопольских бухтах имеет большое прикладное и теоретическое значение, позволяющее обеспечить их безопасное использование в экономических, рекреационных и других целях, найти методы прогноза тягуна и уменьшения его негативных последствий.

В данной работе для бухт Севастополя с использованием уточненных данных о средних глубинах с помощью аналитических методов получены оценки: значений периодов старших мод сейш, максимальных скоростей волновых течений для заданных амплитуд начального отклонения свободной поверхности, пространственной структуры колебаний уровня и полей волновых течений. Определенные аналитически значения периодов собственных колебаний бухт использованы для задания граничных условий в численной модели ADCIRC для расчета резонансного отклика Севастопольских бухт на внешние периодические возмущения, имеющие периоды, близкие к собственным периодам бухт. Моделирование выполнено на неструктурированной расчетной сетке, аппроксимирующей прибрежную зону, примыкающую к побережью Крымского полуострова в Севастопольском регионе, имеющей размеры 18,5 на 14,5 км. Сетка содержит 107202 треугольных конечных элементов с 56354 узлами, в которых задается реальная батиметрия. В результате анализа результатов численных расчетов найдены значения резонансных частот для следующих Севастопольских бухт: Севастопольская, Южная, Стрелецкая, Карантинная, Круглая, Камышловая.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВКЛАДА ВЕТРА В ИЗМЕНЧИВОСТЬ АНТАРКТИЧЕСКОГО ЦИРКУМПОЛЯРНОГО ТЕЧЕНИЯ

Лебедев К.В., Тараканов Р.Ю.

ИО РАН, г. Москва, Россия

KLebedev@ocean.ru

Ключевые слова: моделирование, циркуляция, изменчивость, Антарктическое циркумполярное течение, Южный океан, Argo.

Исследование изменчивости расхода Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) в проливе Дрейка базируется на результатах модельных расчетов АМИГО (Lebedev, 2016), выполненных с использованием данных измерений Argo и полей напряжения трения ветра из реанализа ECMWF ERA-Interim. Argo-модель исследования глобального океана (АМИГО), разработанная в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 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 не только для районов, обеспеченных наблюдениями, но и в прибрежных областях, где данные Argo практически отсутствуют.

Для изучения вклада ветрового воздействия в изменчивость расхода АЦТ были выполнены две серии численных экспериментов. В эксперименте 1 используемые в расчетах АМИГО поля температуры и солености были заменены их среднеклиматическими аналогами (расчет для января 2005 г. проводился по среднеклиматическим данным января 2005–2014 гг. и т.д.). Поля ветра при этом соответствовали реальным месяцам и сезонам (расчет для января 2005 г. проводился по данным тангенциального напряжения трения ветра января 2005 г. и т.д.). Это позволило оценить вклад в изменчивость расхода АЦТ ветрового воздействия.

В эксперименте 2 используемые в расчетах АМИГО поля тангенциального напряжения трения ветра были заменены их осредненными за 2005–2014 гг. аналогами (для января 2005 г. использовались данные температуры и солёности января 2005 г. и осредненный за январь 2005–2014 гг. ветер и т.д.). Целью этих расчетов была оценка вклада изменчивости термохалинных полей в изменчивость расхода АЦТ.

По результатам проведенных модельных исследований можно сделать следующие основные выводы.

1. Модельные расчеты АМИГО с использованием данных Argo за 2005–2014 гг. позволили оценить расход АЦТ и его изменчивость в проливе Дрейка. Расход АЦТ получился равным 162 ± 5 Св. Изменчивость расхода АЦТ в проливе Дрейка не имеет четко выраженного сезонного характера. Максимальное значение среднемесячного расхода получилось равным 173 Св (май 2006 г.), минимальное – 149 Св (июль 2007 г.).

2. Численный эксперимент с заменой в расчетах АМИГО реальных сезонных полей тангенциального напряжения трения ветра на их осредненные за 2005–2014 гг. аналоги показал, что изменчивость расхода АЦТ в проливе Дрейка начинает в этом случае носить строго выраженный сезонный характер, разность расходов зима-лето заметно падает, а межгодовая изменчивость становится слабовыраженной. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что межгодовая изменчивость термохалинных полей Южного океана оказывает слабое влияние на изменчивость расхода АЦТ в проливе Дрейка.

3. Численный эксперимент с заменой в расчетах АМИГО реальных сезонных полей температуры и солёности на их климатические аналоги для периода 2005–2014 гг. показал, что изменчивость расхода АЦТ в проливе Дрейка получается очень близкой к изменчивости, полученной на основе оригинальных расчетов АМИГО. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что основным фактором, определяющим межгодовую изменчивость расхода АЦТ в проливе Дрейка, является изменчивость полей тангенциального напряжения трения ветра.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-17-10149.

ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ В ПОЛЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН НА ФОРМИРОВАНИЕ ЗОНЫ СОЛНЕЧНОГО БЛИКА

Лебедев Н.Е., Запевалов А.С.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
nick_leb@mail.ru, sevzepter@mail.ru*

Ключевые слова: спутниковое оптическое зондирование, параметры солнечного блика, сканер.

Решение широкого круга задач, таких как определение цветности моря, количества растворенной органики и взвесей, оптических характеристик атмосферы, шероховатости морской поверхности и ряда других на макромасштабах в настоящее время базируется на данных спутниковых измерений оптического излучения системы океан-атмосфера. Как правило, часть спутникового снимка занята солнечным бликом, который при решении указанных задач является или мешающим, или информативным фактором. В зоне блика доминирующим является механизм зеркального отражения прямого солнечного света от морской поверхности; за его пределами оптический сигнал формируют механизмы, связанные с рассеянием в атмосфере и обратным рассеянием из водной толщи.

Поэтому как в целях планирования проведения спутниковых измерений, так и анализа спутниковых снимков, желательно иметь общее наглядное представление о геометрических параметрах блика, среди которых можно выделить ширину, протяженность, контраст яркости. Первые две характеризуют занимаемую бликом площадь (где решение одной группы задач затруднено, а другой – единственно возможно), последняя – выраженность блика. Для задач, где блик является мешающим фактором, она связана с уровнями остаточной погрешности их решения в зоне блика после его коррекции; а где блик информативен, уровень его контраста соответствует точности решения задачи. Выраженность солнечного блика зависит от интенсивности

поверхностного волнения (тем самым от приводного ветра), геометрии наблюдения, прозрачности атмосферы и интенсивности внебликовых компонент восходящего излучения. Последние рассчитывались по полуэмпирической модели В.В. Соболева.

В представленном докладе на основе модельных расчетов анализируется формирование зоны солнечного блика на снимках морской поверхности, полученных с помощью оптических сканеров, установленных на космических аппаратах. Анализ проведен для рассеяния света нелинейным полем поверхностных волн, в котором распределение уклонов отличается от распределения Гаусса, в сопоставлении с распределением Гаусса и изотропным распределением уклонов. Количественная оценка геометрических параметров солнечного блика приблизительно соответствует условиям зондирования с солнечно-синхронной орбиты (например, сканерами спутников Terra, Aqua) в видимом и ближнем ИК – диапазонах 0,4–1,6 мкм в диапазонах характерных для морских условий оптических толщ аэрозольного рассеяния атмосферы 0,03–0,33 и соответствующих моделям шероховатости морской поверхности скоростей приводного ветра 2–14 м/с.

Исследования проводились в рамках темы № 0827-2018-0002 «Развитие методов оперативной океанологии на основе междисциплинарных исследований процессов формирования и эволюции морской среды и математического моделирования с привлечением данных дистанционных и контактных измерений» (шифр «Оперативная океанология»)

ПОДКЛЮЧЕНИЕ МЕЖГРАНУЛЯРНОГО ТРЕНИЯ К ТЕОРИИ БИО-СТОЛЛА

**Лисютин В.А., Ластовенко О.Р., Ярошенко А.А.,
Петренко Н.В.**

*СевГУ, г. Севастополь, Россия
vlisiutin@mail.ru*

Ключевые слова: неконсолидированные морские осадки, фазовая скорость, коэффициент затухания, межгранулярное трение, Био-Столла теория.

Наиболее известная теория распространения упругих волн в морских осадках предложена Р.Д. Столлом (Био-Столла теория) на основе теории М. Био. В теории Био рассматривается консолидированная упругим скелетом среда и предполагается единственный механизм потерь – вязкое трение. Для учета потерь иной физической природы М. Био развивает «принцип соответствия», согласно которому уравнения, описывающие распространение волн в среде с потерями будут формально такими же, как и для упругих сред, при условии замены упругих коэффициентов на соответствующие интегро-дифференциальные операторы.

Адаптируя теорию Био применительно к морским осадкам, Р.Д. Столл для учета внутреннего трения приписывает в частотной области к объемному и сдвиговым модулям упругости скелета малую постоянную комплексную часть, и подбирает соотношение между вещественной и мнимой частью так, чтобы удовлетворить экспериментальным данным. При этом на частоте эксперимента соотношение между вещественными и мнимыми частями оказывается верным, а на других частотах – нарушенным, причем на высоких частотах вязкое затухание доминирует, что не соответствует экспериментам. Кроме того, такая добавка нарушает условия причинности, а представление о скелете в неконсолидированной среде противоречит фактам.

В начале нынешнего века М. Букингом разработан «GS» теорию, объясняющую распространение и затухание упругих волн в

осадках трением между частицами. В GS теории осадки рассматриваются как однофазная среда, вязким трением пренебрегается. Согласно М. Букингему, не упругий скелет, а межгранулярное трение придает неконсолидированной среде продольную и поперечную жесткость.

В докладе представляется оригинальная теория распространения упругих волн в неконсолидированных морских осадках, основанная на уравнениях теории Био. Делается два преобразования. Первое. Объемный и сдвиговой модули упругости скелета заменяются соответствующими «операторами» межгранулярной жесткости, взятыми из GS теории вместе с дисперсионными элементами. Второе. Обращается внимание на принципиальное отличие модельной среды Био с порами в виде параллельных трубок от порового пространства неконсолидированной среды, где поры представляют собой сетевую структуру. Вводится понятие о перколяционной пористости в неконсолидированной среде – доле статической пористости, в которой возможно движение флюида. Перколяционная пористость теперь является свободным параметром, позволяющим устанавливать правильный баланс между силами вязкого и внутреннего трения.

Модифицированная теория обозначается Biot+GS – теория Био с межгранулярным взаимодействием.

Приводятся результаты инверсии экспериментальных данных с помощью Biot+GS теории, из которых определяются два параметра порового пространства: структурный фактор и перколяционная пористость.

Проводится сравнительный анализ результатов Biot+GS теории с экспериментальными данными, из которого следует, что Biot+GS теория показывает хорошее совпадение с экспериментом.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ СТРУКТУРЫ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕННОСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ПО ДАННЫМ БУЕВ ARGO

Лишаев П.Н., Кныш В.В., Коротаев Г.К.

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

Ключевые слова: восстановленные поля температуры и солености, функция взаимной ковариации, среднеквадратические отклонения, ассимиляция, реанализ.

Во многих работах, посвященных реанализу гидрофизических полей Черного моря, показано, что наряду с ассимиляцией в модели альтиметрических данных измерений и спутниковой поверхностной температуры следует корректировать также модельную температуру и соленость данными их контактных измерений по глубине, поддерживая тем самым стратификацию вод. Необходимость корректировки объясняется тем, что средняя стратификация вод бассейна в чисто модельных расчетах воспроизводится неточно.

Цель настоящей работы состоит в том, чтобы воспроизвести профили температуры и солености в верхнем слое 2,5–63 м глубоководной области моря, ограниченной изобатой 500 м. В этом слое, как показывает анализ построенных T , S -кривых, наблюдается большой разброс измеренных буюми Argo значений температуры и солености вокруг этих кривых. В отличие от глубоководного слоя моря 63–500 м, в котором преобладают адиабатические смещения изотермических и изохалинных поверхностей, что позволило авторам ранее восстановить трехмерные поля температуры и солености в этом слое по оригинальной методике, верхний слой моря 2,5–63 м подвержен влиянию атмосферы и речного стока.

Для воспроизведения профилей солености (температуры) в слое моря 2,5–63 м использовались методологические принципы оптимальной интерполяции Л.С. Гандина. В соотношениях для

восстановления профилей солёности (температуры) за 2012 год применялась коррекция рассчитываемой в модели солёности (температуры) данными трехмерных полей из нижележащих горизонтов, используя функцию взаимной ковариации значений солёности (температуры) на выбранном горизонте с модельной прогностической солёностью (температурой) на вышележащих горизонтах.

Максимальное стандартное среднеквадратическое отклонение восстановленных полей солёности относительно измеренных буями Argo в слое моря 2,5–63 м, оцененное за 2012 год, характеризуется значением 0,38 ‰ на глубине 63 м. Среднеквадратическое отклонение восстановленных полей температуры является максимальным на глубине 40 м и равно 1,71°C.

Сформированы полные профили температуры и солёности во всем слое 2,5–500 м, состоящие из восстановленных в верхнем слое 2,5–63 м, полученных ранее профилей в слое 63–500 м и подкорректированных в слое 63–125 м в соответствии с предложенной процедурой. Диаграмма сезонной изменчивости средних по горизонтам значений температуры в слое 2,5–200 м свидетельствует об уточнении поверхностной температуры в период зимнего формирования холодного промежуточного слоя. В летний период значения температуры поверхности моря отражают измеренные буями Argo.

Реанализ полей Черного моря выполнен за 2012 год с ассимиляцией воспроизведенных трехмерных полей солёности и температуры в слое 2,5–500 м методом адаптивной статистики. Валидация данных реанализа показала, что среднеквадратические отклонения восстановленных в реанализе полей солёности и температуры на горизонтах слоя 2,5–63 м существенно уменьшились по сравнению с вариантом реанализа, в котором трехмерные поля солёности и температуры усваивались в модели в слое 63–500 м.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОЛНОНЕЛИНЕЙНОГО БРИЗЕРА ПЕРВОЙ МОДЫ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ НАД ДОННЫМ УСТУПОМ

Лобовиков П.В., Рувинская Е.А., Куркина О.Е., Куркин А.А.

*НГТУ, г. Нижний Новгород, Россия
plobovikov@gmail.com*

Ключевые слова: внутренние волны, бризер, численное моделирование, полнонелинейная негидростатическая модель.

В рамках данной работы исследована динамика бризера внутренних волн первой моды при его распространении над вертикальным уступом в трехслойной жидкости в рамках полнонелинейной негидростатической модели. Численное моделирование проводилось с помощью программного комплекса MITgcm, океаническая часть которого основывается на трехмерных уравнениях гидродинамики несжимаемой жидкости. Для генерации устойчивого полнонелинейного бризера в качестве начального распределения плотности использовалось смещение изолиний в виде бризерного решения эволюционного уравнения Гарднера. В рамках работы была проведена серия вычислительных экспериментов с различными параметрами (ширина, высота) донного уступа. Ширина варьировалась в диапазоне 100–500 м с шагом 200 м, высота варьировалась в диапазоне 4–20 м с шагом 4 м. Согласно результатам численного моделирования, в зависимости от параметров донного уступа можно наблюдать различные динамические режимы процесса взаимодействия, такие как генерация высокомодовых возмущений, генерация второго бризера, слабое отражение в области неоднородности дна. Анализ результатов численного моделирования позволил сделать вывод о том, что динамика трансформации не сильно зависит от ширины донного уступа в рассмотренном диапазоне параметров. Спектральный анализ результатов показал, что при высотах уступа, сравнимых с высотой нижнего пикноклина, наблюдается генерация второго бризера первой моды, а также усиливается

асимметрия возмущений на пикноклинах (что говорит о генерации связанных старших мод) и меняются форма, параметры и спектральные характеристики первого бризера.

Представленные результаты получены в рамках выполнения гос. задания в сфере научной деятельности (Задание № 5.4568.2017/6.7) и при поддержке стипендии Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов на 2016–2018 гг. (СП-2311.2016.5).

СТАТИСТИКА ПАРАМЕТРА ПИКОВАТОСТИ В СПЕКТРЕ ВЕТРОВЫХ ВОЛН

Лопатухин Л.И.¹, Бухановский А.В.²

¹СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

²Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, Россия
leonid-lop@yandex.ru; avb_mail@mail.ru

Ключевые слова: ветровое волнение, зыбь, климатические спектры, параметр пиковатости и его статистика.

Функция спектральной плотности является универсальной характеристикой, позволяющей описать разнообразие свойств волнения и решить многочисленные прикладные задачи. Параметр пиковатости γ – наиболее трудно определяемый и в то же время наиболее важный для практических расчетов, в частности:

- определяет величину экстремальной волновой нагрузки на суда и сооружения в море на частоте пика спектральной плотности;
- также как эксцесс (kurtosis) распределения высот волн влияет на образование (увеличивает вероятность) появления необычных волн (волн-убийц, freak waves);
- оказывает влияние на величину транспорта наносов в мелководном море.

В тех случаях, когда об условиях волнообразования ничего неизвестно, рекомендуется принимать $\gamma = 3.3$, что соответствует

средним условиям в Мировом океане. Данные измерений показывают, что γ может изменяться от 1 до 20. Столь широкий разброс оценок параметра γ неприемлем при решении конкретных прикладных задач. Однако инструментальных (контактных) измерений спектров волнения и соответственно оценок параметра пиковатости крайне мало. Более того, на морях, омывающих Россию, регулярные измерения волнения не проводятся. Это означает, что непрерывные (за период в несколько десятков лет) расчёты волнения по гидродинамическим моделям могут служить основой соответствующих статистических обобщений параметра γ . Выполнены соответствующие расчёты для некоторых морей, омывающих Россию. В качестве примера приведены результаты для морей с различным режимом волнения – Японского, Берингова, Карского и Белого. Дана оценка двумерных и условных распределений (высот волн и параметра пиковатости), моментов распределений и других статистик.

СЕЙШЕВЫЕ КОЛЕБАНИЯ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ ИВМ РАН

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

¹*МГИ, г. Севастополь, Россия*

²*ИВМ РАН, г. Москва, Россия*

annieromanenko@gmail.com

Ключевые слова: Черное море, численное моделирование, сейшевые колебания.

В работе изучены свободные колебания в Черном море, возникающие в модели Черного и Азовского морей Института Вычислительной Математики им. Г.И. Марчука (ИВМ) РАН в результате перепада уровня моря. Перепад уровня задан в модели в начальный момент времени как результат длительного воздействия ветра устойчивого направления.

Для исследования были выполнены расчеты с баротропным вариантом модели сроком на 7 дней. Ветровое воздействие в расчетах не учитывалось. По результатам численных экспериментов получены данные по уровню моря и скоростям течений. Для изучения спектральных характеристик сейшевых колебаний рассчитаны Фурье-спектры колебаний уровня моря для ряда точек бассейна.

По анализу результатов численных расчетов получены периоды и амплитуды, а также положение узловых линий и время затухания колебаний. Полученные характеристики сейшевых колебаний сопоставлены с ранее выполненными исследованиями.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0004.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С БЕРЕГОЗАЩИТНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ С РЕАЛЬНЫМ РЕЛЬЕФОМ ДНА

Михайличенко С.Ю., Иванча Е.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
liham1984@rambler.ru*

Ключевые слова: негидростатическая модель SWASH, модель SWAN, нерегулярное поверхностное волнение, волнолом, высота значительных волн, коэффициент трансформации, осредненная по глубине скорость жидкости, заповедник «Херсонес Таврический».

С использованием гидродинамической негидростатической модели SWASH и спектральной волновой модели SWAN в работе проведено исследование взаимодействия нерегулярного поверхностного волнения с подводными волноломами в прибрежной зоне заповедника «Херсонес Таврический». Выпол-

нена серия численных экспериментов с различными схемами расположения гидротехнических сооружений в акватории городища. Проанализировано влияние берегозащитных сооружений на характер и структуру формируемых волновых полей. Показано, что при взаимодействии поверхностных волн с волноломами во всех рассмотренных случаях происходит трансформация волнового поля с формированием в бассейне акватории зон как ослабленного, так и усиленного волнения. Рассчитаны величины высот значительных волн, коэффициентов трансформации и осредненных по глубине орбитальных скоростей жидкости. Проанализирована эффективность гашения волновой энергии гидротехническими сооружениями в каждом модельном случае. Сделаны выводы о пригодности использования рассмотренных схем расположения волноломов для защиты аварийноопасных участков побережья заповедника.

ФОРМИРОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУРЫ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ГЛУБИННЫХ СЛОЯХ ЧЕРНОГО МОРЯ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ АНОМАЛЬНОГО ЦИКЛОНА

Нечаев С.С., Маркова Н.В., Демьшев С.Г., Шокуров М.В.

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

Ключевые слова: Черное море, моделирование, квазитропический циклон, отклик, аномалия, релаксация.

С помощью серии численных экспериментов на основе модели динамики моря МГИ (Демьшев, Коротаев, 1992) проводится исследование процессов эволюции гидрофизических полей Черного моря в период воздействия на поверхность аномального квазитропического циклона и в течение нескольких недель после его ухода за пределы акватории.

В качестве атмосферного форсинга используются поля кас-

тельного напряжения трения ветра, потоков тепла и влаги, полученные в работе (Ефимов и др., 2007). Моделирование изменчивости гидрофизических полей Черного моря под непосредственным воздействием данного циклона – до его выхода через 5 суток за пределы моря – было проведено в работах (Демьшев, Маркова, 2010; Демьшев и др., 2012). Однако последствия влияния атмосферного вихря на гидродинамические процессы во всем объеме бассейна после его ухода ранее не рассматривались.

Результаты проведенных численных экспериментов согласуются с данными дистанционного зондирования поверхности моря. Установлено присутствие области с аномальными значениями основных гидрофизических параметров как минимум в течение месяца после ухода атмосферного вихря. Показано, что сгенерированные им возмущения прослеживаются не только в верхнем, но и в глубинных слоях моря (горизонты 1500 м и более).

Работа выполнена по теме госзадания 0827-2018-0002.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ БАЛАНСЫ В СТАТИСТИЧЕСКИ- РАВНОВЕСНОМ РЕЖИМЕ В ДВУХСЛОЙНОЙ ВИХРЕРАЗРЕШАЮЩЕЙ МОДЕЛИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Павлушин А.А., Шапиро Н.Б., Михайлова Э.Н.

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

Ключевые слова: Черное море, вихреразрешающая модель, энергетический баланс.

Обсуждаются результаты численных экспериментов по моделированию крупномасштабной циркуляции и вихревых структур в Черном море, выполненных в рамках энерго-сбалансированной двухслойной модели с примитивными уравнениями.

В обсуждаемых расчетах поступление энергии в море

задавалось полем касательного напряжения ветра, как с постоянной (циклонической), так и с сезонно меняющейся завихренностью. Эксперименты проводились на длительный срок, до выхода решения на статистически-равновесный режим.

Рассчитаны осредненные по площади компоненты кинетической и потенциальной энергии, обусловленные средними скоростями, и компоненты, обусловленные пульсациями. Построены диаграммы их взаимных переходов, как в целом для бассейна, так и для отдельных слоев.

Из анализа пространственных распределений составляющих энергии, работы сил напряжения ветра, трения, переходов от средних к вихревым составляющим выявлено существенное различие в энергетике между западной и восточной частью Черного моря. Работа напряжения ветра максимальна в восточной части моря, а в западной части максимальна диссипация энергии вследствие придонного трения. Выявлены зоны, где энергия от вихревых движений передается средним течениям (эффект отрицательной вязкости).

ДЛИННЫЕ ВОЛНЫ В ДВУХСЛОЙНОЙ ВИХРЕРАЗРЕШАЮЩЕЙ МОДЕЛИ ЧЕРНОГО МОРЯ В СТАТИСТИЧЕСКИ-РАВНОВЕСНОМ РЕЖИМЕ

Павлушин А.А., Шапиро Н.Б., Михайлова Э.Н.

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

Ключевые слова: Черное море, вихреразрешающая модель, волны Россби, захваченные волны.

Представлены результаты численного моделирования крупномасштабной циркуляции и вихревых структур в Черном море на основе энергосбалансированной двухслойной модели, базирующейся на примитивных уравнениях. Эксперименты проводились на длительный срок, до выхода решения на статистически-равновесный режим.

Движение возбуждалось ветром (стационарным циклоническим и с сезонно меняющейся завихренностью) в бассейне с горизонтальным дном, с учетом рельефа дна, на f -плоскости и с учетом β -эффекта.

Несмотря на существенные различия в циркуляции, общей особенностью для всех экспериментов является образование длинных волн. Эти волны видны в полях течений, толщины слоев, уровня моря, интегральной функции тока. В верхнем слое, например, они проявляются в меандрировании струйного кругового течения (ОЧТ).

Для анализа волн построены временные диаграммы изменения физических характеристик вдоль контура, практически совпадающего со стрежнем ОЧТ, а также вдоль широтного разреза, проходящего приблизительно через центральную часть моря.

На диаграммах визуально и с помощью спектрального анализа выделены длинные волны с различными периодами и волновыми числами. В экспериментах с горизонтальным дном и постоянным параметром Кориолиса это волны распространяются вдоль потока. При наличии β -эффекта в море с горизонтальным дном формировались так называемые баротропные волны Россби ограниченного бассейна. При учете рельефа дна наблюдались волны, захваченные материковым склоном. При одновременном учете рельефа дна и β -эффекта наблюдались все вышеперечисленные волны. Кроме того, при учете сезонной изменчивости ветра были выделены бароклинные волны Россби с годовым периодом.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗНОМАСШТАБНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ В ТАТАРСКОМ ПРОЛИВЕ И ВОДООБМЕНА МЕЖДУ ЯПОНСКИМ И ОХОТСКИМ МОРЯМИ

**Пономарев В.И., Файман П.А., Дубина В.А., Карнаухов А.А.,
Шкорба С.П.**

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

Ключевые слова: гидродинамическое моделирование, разно-масштабная изменчивость, циркуляция, спутниковые и контактные, наблюдения, Татарский пролив, Японское море

Исследование разномасштабной изменчивости циркуляции в Татарском проливе Японского моря и водообмена с Охотским морем через проливы Невельского и Лаперуза проводится с использованием результатов численного эксперимента с вихререзвращающей гидродинамической моделью RIAM OM, разработанной в японском институте Прикладной механики (RIAM) университета Кюсю в Японии. На поверхности моря задаются кинематическое условие для вертикальной скорости и напряжения трения ветра. Результирующие потоки тепла и соли на поверхности моря рассчитываются с использованием уравнения баланса тепла и влаги, а также упрощенной параметризации влияния зимнего ледяного покрова с различной сплоченностью на потоки тепла, соли и импульса. На дне и контуре берега задавались условия прилипания, а на жидких горизонтальных границах – значения скорости течения, температуры и солёности из известной реализации модели HYSOM для Мирового океана, интерполируемые на граничные узлы сетки модели RIAM. Средние месячные значения расхода реки Амур задавались из климатического архива речного стока.

Для приближения решения к данным наблюдений применяется метод мягкой ассимиляции температуры и солёности на поверхности моря. Поля температуры, как и концентрация сезонного ледяного покрова задавались с суточным разрешением

по данным спутниковых наблюдений (NOAA/National Climatic Data Center), а поля солености – с месячным разрешением из электронного климатического атласа Мирового океана. Средниеточные поля скорости ветра, осадков, испарения, результирующего радиационного баланса и турбулентных потоков тепла задавались из метеорологического реанализа ECMWF ERA-40. Численный эксперимент выполнен П.А. Файманом на суперкомпьютере Токийского университета для крупномасштабной области, включающей Японское море к северу от 40° с. ш., Охотское море и прилегающую часть Тихого океана для многолетнего периода с 1991 по 2000 гг.

Верификация результатов моделирования разномасштабной циркуляции выполнялась с использованием имеющиеся исторические данные океанографических съемок и спутниковых наблюдений в разных частотных диапазонах (NOAA, Aqua Modis, Landsat, Sentinel).

Показана зависимость системы струйных течений и мезомасштабных вихрей в Татарском проливе, водообмена между Японским и Охотским морями от внешнего воздействия и внутренних нелинейных эффектов. Выявлены характерные изменения направления градиентных течений и знака мезомасштабных вихрей в восточной части Татарского пролива при изменении направления ветра на синоптическом и сезонном временных масштабах. Показано изменение вклада различных гидродинамических эффектов, обуславливающих циркуляцию, в годовом ходе.

Работа выполнена при поддержке комплексной программы фундаментальных исследований ДВО РАН «Дальний Восток» на 2018–2020 гг. 18-1-010 (научный руководитель В.Б. Лобанов).

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ
РАЗЛОЖЕНИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ В МОРЯХ
И ОКЕАНАХ. АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ
СТЕФАНА**

**Пухлий В.А., Мирошниченко С.Т., Глушкова Е.В.,
Пантель В.О.**

*СевГУ, г. Севастополь, Россия
pu1611@rambler.ru*

Ключевые слова: газовые гидраты, процессы разложения, математические модели, задача Стефана, аналитическое решение.

Гидросодержащие пласты представляют собой многофазные и многокомпонентные природные образования, основными компонентами которых являются частицы породы, складывающие скелет пористой среды, газовый гидрат, природный газ, вода или лёд, а также некоторые другие включения (нефть и др.).

Добыча газа из газогидратных месторождений основана на разложении гидратов в пластах. Математические модели процессов диссоциации и тепломассопереноса строятся как обобщение известной тепловой задачи Стефана (задача о промерзании) и учитывают влияние движения компонентов, составляющих газовый гидрат.

Одной из первых работ была статья Н.В. Черского и Э.А. Бондарева, опубликованная в Докладах АН СССР (1972, том 203, № 3), в основу которой положены допущения о полном насыщении пор газовым гидратом, зависимости температуры диссоциации от давления и учет фильтрации газа от фронта фазового перехода к газодобывающей скважине. В дальнейшем в работе Н.Н. Веригина с соавторами, опубликованной в Известиях АН СССР, МЖГ (1980, № 1) рассматривался более общий случай, когда в начальном состоянии газовый гидрат сосуществует с газом. Строится математическая модель, учитывающая переток газа через поверхность, разделяющую два состояния вещества, при этом температура пласта предполагается постоянной. В данных мате-

матических моделях предполагается существование резкой границы фазового перехода, т.е. основное предположение Стефана о наличии резкого фронта фазового перехода при этом остается тем же.

В дальнейшем А.М. Максимов и Г.Г. Цыпкин в работе, опубликованной в Известиях АН СССР, МЖГ (1990, № 2) рассматривали задачу о разложении газовых гидратов аналогично работе Н.Н. Веригина, но в предположении переменности поля температур.

В настоящее время в связи с проблемами разделения арктического шельфа между прилегающими странами весьма актуальными стали задачи исследования газовых гидратов в арктических областях. Исследованию данной задачи посвящена работа Г.Г. Цыпкина, опубликованная в Докладах РАН (1992, том 323, № 1), в которой построена математическая модель в предположении, что газовый гидрат сосуществует со льдом в пористой среде. В данном случае необходимо рассматривать модели процесса диссоциации в пластах, содержащие две подвижные границы фазовых переходов. При этом на одной границе будет иметь место разложение газового гидрата, а на другой – плавление льда. Отметим, что взаимное расположение подвижных неизвестных границ будет изменяться в зависимости от параметров процесса.

В последующей работе Г.Г. Цыпкина, опубликованной в Докладах РАН (2001, Том 381, № 1) рассматривалась математическая модель диссоциации гетерогенной смеси гидрат-газ в пластах, учитывающая существование подвижной жидкой фазы. Показано наличие 4-х качественно различных режимов разложения гидратов, соответствующих образованию протяженных областей диссоциации гидратов, а также образованию льда при диссоциации гидратов и формированию ледовых пробок в пластах, первоначально имеющих положительную температуру.

Задача Стефана. Как уже было сказано ранее, тепловая задача Стефана (задача о промерзании) является основой всех математических моделей процессов разложения газовых гидратов.

Отметим, что при изменении температуры тела может происходить изменение его физического состояния, в частности при переходе температуры через точку плавления – переход из жид-

кой фазы в твердую (или обратный переход). На поверхности фазового перехода все время сохраняется постоянная температура. При движении поверхности фазового перехода происходит выделение скрытой теплоты затвердевания (плавления).

Задачи о распределении температуры внутри замерзающей воды и о скорости распространения границы замерзания сводятся к решению системы 2-х уравнений в частных производных относительно 2-х переменных (координаты и времени) с соответствующими начальными и граничными условиями, а также условиями на границе замерзания. Для решения данной начально-краевой задачи Стефана используется аналитический подход, разработанный проф. В.А. Пухлий и опубликованный в журнале «Обозрение прикладной и промышленной математики» (2017, Том 24, вып. 1).

На 1-м этапе для сведения исходной начально-краевой задачи математической физики к системе обыкновенных дифференциальных уравнений в общем случае с переменными коэффициентами относительно переменной – времени используется метод интегральных соотношений Дородницына. В дальнейшем решение полученной системы обыкновенных дифференциальных уравнений строится модифицированным методом последовательных приближений, разработанным проф. В.А. Пухлий и опубликованном в журналах: «Журнал вычислительной математики и математической физики» (1978, том 18, № 5) и «Дифференциальные уравнения» (1979, том 15, № 11).

АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ СЕРОВОДОРОДНОГО СЛОЯ ПО ДАННЫМ ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОГО МОРЯ

Ратнер Ю.Б., Холод А.Л., Шабан С.А.

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

Ключевые слова: сероводород, слой, верхняя граница, диагноз, состояние, Черное море.

Изучение изменчивости глубины залегания верхней границы сероводородного слоя Черного моря представляет несомненный интерес как с точки зрения анализа биогеохимических характеристик его вод, так и с прикладной точки зрения. Изучению этого вопроса уделялось большое внимание, начиная с пионерской работы Андрусова, выполненной в 1890 г.

Современный этап развития морских наук характеризуется активным внедрением методов оперативной океанографии. В ФГБУН МГИ с 2012 года действует оперативная система диагноза и прогноза состояния Черного моря. В ее состав входит четыре модели, в том числе гидротермодинамическая и биогеохимическая.

Концентрация сероводорода в морской воде непосредственно не входит в число параметров биогеохимической модели, которые хранятся в архивах данных системы. Поэтому для решения задачи, была использована связь между глубиной залегания изопикны с условной плотностью воды, равной 16,2 и верхней границей сероводородного слоя, приведенная в диссертационной работе А.Х. Халиулина. Целью работы является изучение короткопериодной изменчивости глубины залегания верхней границы сероводородного слоя по ежесуточным данным за период 2012–2014 гг., заданным на пространственной сетке с разрешением 5×5 км по широте и долготе.

Глубины залегания изопикны 16,2 были получены на основе расчета условной плотности морской воды. Для этого использо-

вались четырехмерные поля температуры и солености, полученные с помощью гидротермодинамической модели. Далее глубины залегания изопикны 16,2 были пересчитаны в глубину залегания верхней границы сероводородного слоя.

Изучение короткопериодной изменчивости глубин залегания верхней границы сероводородного слоя было выполнено на основе метода SVD-разложения. В результате изучаемое поле может быть представлено в виде произведения двух матриц, первая из которых представляет собой пространственные базисные функции (пространственные компоненты), а вторая – матрицу, составленную из взаимно ортогональных базисных функций, характеризующих временную изменчивость (временные компоненты).

Применительно к используемым данным матрица пространственных компонент имеет размерность 12091×1096 , матрица временных компонент – 1096×1096 . Наибольшая изменчивость поля глубин залегания верхней границы сероводорода соответствует компонентам с наименьшими номерами. Первые четыре компонента описывают 50% дисперсии изучаемого поля, 13 компонент – 75%, 30 компонент – 90% и 49 компонент – 95% дисперсии.

Особенностями первой пространственной компоненты являются два мезомасштабных вихревых образования, одно из которых локализовано в юго-восточном районе, а другое вблизи южного берега Крыма. Первая временная компонента имеет колебательный характер с основным периодом порядка одного года. Особенности второй компоненты представлены пятью мезомасштабными вихрями, локализованными в юго-восточном, северо-восточном и западном районах акватории. Вторая временная компонента также имеет преимущественно колебательный характер с периодом год. Особенности других пространственных компонент имеют аналогичный характер. Временные компоненты изменяются менее регулярным образом. На спектрах временных компонент выделяются максимумы, соответствующие периодам 2,5 сут., 5–7, 10, 20 и 90 сут.

ЭВОЛЮЦИЯ ПОЛЯ ВНУТРЕННИХ ВОЛН, ГЕНЕРИРУЕМЫХ ДВИЖУЩЕЙСЯ С ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТЬЮ ОБЛАСТЬЮ БАРИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ

Санников В.Ф.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
vf_sannikov@mail.ru*

Ключевые слова: математическая модель, генерация, внутренние волны, длинноволновое приближение, кильватерный след.

Представляется математическая модель, позволяющая в линейной постановке с использованием длинноволнового приближения рассчитывать поля внутренних волн, генерируемых движущейся с переменной скоростью областью возмущения атмосферного давления. Проведен анализ эволюции распределения по горизонтали амплитуд одной внутренней моды в ближней области.

Перемещающиеся барические образования являются одним из генераторов внутренних волн в морях. Волнообразующее действие циклонов проявляется в создании областей возмущения атмосферного давления, полей касательных напряжений ветра, конвективного перемешивания, источник которого перемещается над поверхностью моря. Известна возможность интерпретации реакции океана на перемещающийся циклон, как кильватерного следа движущегося шторма.

Изучению волновых процессов, связанных с движущимися барическими образованиями, посвящено большое число работ. Движение аномалий атмосферного давления обычно предполагается прямолинейным и равномерным. Учет значительных изменений параметров движения генераторов волн затруднителен, поскольку связан с большими объемами вычислений. Сопутствующие эффекты изучены мало.

Групповые скорости распространения внутренних волн в океане не превышают 3 м/с. Поэтому следует ожидать, что установление волнового следа при неизменных внешних условиях

происходит относительно медленно. В связи с этим представляет интерес развитие математических моделей, позволяющих учитывать изменения со временем внешних сил и нестационарность процессов волнообразования.

В настоящей работе определены особенности формирования пространственного распределения амплитудных характеристик волнового поля в случае, когда скорость движения устанавливается в течение некоторого промежутка времени различным образом.

Пока скорость перемещения барической области не превышает скоростей распространения внутренних волн (докритический случай), основные возмущения среды сосредоточены перед генератором и представляют собой развитие начальных условий. В сверхкритическом случае за областью давлений образуется кильватерный след.

Анализ проведенных расчетов показал, что в волновом поле выделяются три области: ближняя, в которой волновые возмущения среды устанавливаются относительно быстро; средняя, в которой происходит процесс установления, и дальняя, имеющая форму кольцевой волны и обусловленная эволюцией начальных возмущений. Наибольшее влияние режима изменения скорости генератора волн проявляется в средней области.

АДАПТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЗОННОГО ХОДА НЕОРГАНИЧЕСКИХ ФОРМ АЗОТА В СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЕ

Свищев С.В., Тимченко И.Е.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
sergsvishchev09@gmail.com*

Ключевые слова: адаптивный баланс влияний, восстановление ненаблюдаемых процессов, концентрация неорганических форм азота, Севастопольская бухта.

Одной из основных прикладных проблем современных геофизических исследований является не столько качественная, сколько количественная оценка интенсивности биогеохимических процессов в будущие моменты времени, в том числе с помощью адаптивных динамических моделей рассматриваемых процессов. Прогностическое моделирование по методу адаптивного баланса влияний основывается на стремлении сложных систем к установлению динамического баланса с переменными внешними воздействиями, оказывающими влияние на систему, после чего внутренние параметры системы приходят к стационарному состоянию.

Предварительное сравнение сценариев изменения параметров, полученных с применением адаптивных моделей первого и второго порядков, показывает ряд преимуществ при использовании моделей второго порядка. В частности, модели второго порядка с отрицательными обратными связями быстрее сходятся к стационарному состоянию, более чувствительны к внешнему влиянию, что обеспечивает их более высокую управляемость. Как следствие, время запаздывания сценариев по отношению к внешнему влиянию у моделей второго порядка заметно меньше, чем у моделей первого порядка. Исходя из этих преимуществ, при моделировании причинно-следственных связей между концентрациями неорганических форм азота в морских экосистемах был использован метод адаптивного баланса влияний с уравнениями второго порядка.

Материальные балансы отклонений параметров от их средних значений формируются в соответствии с причинно-следственными связями между параметрами системы. Для оценки коэффициентов влияний между внутренними параметрами, оказывающими внутрисистемные влияния друг на друга, был применен метод нормированных отношений средних значений.

В качестве опорных были использованы данные наблюдений гидрохимических параметров, полученные в акватории Севастопольской бухты с мая 1998 г. по сентябрь 2016 г. В этот период времени была проведена 81 гидролого-гидрохимическая съемка. По результатам натурных наблюдений были сформированы временные ряды концентрации неорганических растворенных форм азота: аммония NH_4 , нитритов NO_2 и нитратов NO_3 . Поскольку

измерения в течение этого 18-летнего периода времени проводились нерегулярно, для составления из них наиболее представительной выборки данных они были объединены в общие массивы и подвергнуты скользящему осреднению с интервалом 30 суток. Таким путем были получены графики многолетней среднемесячной изменчивости концентраций гидрохимических параметров в экосистеме Севастопольской бухты, а также оценки средних значений концентраций параметров, которые были использованы в адаптивном уравнении нитрификации второго порядка с отрицательной обратной связью для восстановления концентрации нитритов.

Восстановленный сценарий внутригодового изменения концентрации нитритов, использующий минимальную информацию о параметре NO_2 – только его среднее значение, в основном правильно отслеживает тенденции изменения реального сценария. Однако отклонения восстановленного сценария от среднего значения концентрации нитритов – $2,03 \text{ мг N/м}^3$ заметно меньше, чем у реального. Поэтому отношение дисперсии ошибки восстановления к дисперсии реального сценария составило 1,94, что соответствует отношению среднеквадратичных значений 1,38.

О ГЕНЕРАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ИНЕРЦИОННО-ГРАВИТАЦИОННЫМИ ВНУТРЕННИМИ ВОЛНАМИ

Слепышев А.А.^{1,2}, Воротников Д.И.³, Носова А.В.¹,
Лактионова Н.В.²

¹МГИ, г. Севастополь, Россия

²Филиал МГУ в г. Севастополе, г. Севастополь, Россия

³МГУ, г. Москва, Россия

slep55@mail.ru

Ключевые слова: внутренние волны, стоков дрейф, вертикальная тонкая структура.

Внутренние волны играют ключевую роль в динамике стратифицированной толщи моря и многообразны источники, их порождающие, – это атмосферные возмущения, гидродинамическая неустойчивость течений, воздействия неоднородностей рельефа дна на течения и приливы, излучение волн вихрями. Нелинейные эффекты при распространении пакетов внутренних волн проявляются в генерации средних течений и неосциллирующей на временном масштабе волны поправки к плотности, которая трактуется, как тонкая структура, генерируемая волной. Данная поправка пропорциональна квадрату текущей амплитуды волны и после прохождения волнового пакета невозмущенный профиль плотности восстанавливается. В настоящей работе показано, что для инерционно-гравитационных внутренних волн (при учете вращения Земли) вертикальные волновые потоки массы отличны от нуля при наличии среднего течения, у которого компонента скорости, поперечная к направлению распространения волны, зависит от вертикальной координаты. Вертикальная составляющая скорости стокова дрейфа также отлична от нуля и вносит свой вклад в волновой перенос. Волновой поток массы превосходит турбулентный и приводит к необратимой деформации профиля средней плотности – к тонкой структуре, генерируемой волной.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0003 «Фундаментальные исследования океанологических процессов, определяющих состояние и эволюцию морской среды под влиянием естественных и антропогенных факторов, на основе методов наблюдения и моделирования» (шифр «Океанологические процессы»).

ТРАНСФОРМАЦИЯ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ НА ПОЛЯРНОМ ФРОНТЕ НАД ОХОТСКИМ МОРЕМ

Соколихина Н.Н., Петров Е.О., Семенов Е.К.

*МГУ, г. Москва, Россия
natalia.sokolikhina@gmail.com*

Ключевые слова: тропические циклоны, барико-циркуляционный анализ, индекс спиральности.

Каждый год Дальний Восток России оказывается под влиянием тропических циклонов (ТЦ), приходящих с северо-запада Тихого океана. Однако ТЦ не выходят на территорию России в «первозданном» виде. Большинство из них перед этим трансформируются на полярном фронте. Следствием такой трансформации является изменение их структуры, проявляющееся в перестройке полей температуры, облачности, осадков и ветра. Выход тропических циклонов и их трансформация часто сопровождаются вторжением тёплого влажного тропического воздуха, которое почти всегда вызывает стихийные бедствия: дожди более 100 мм/сутки, ураганные ветры, наводнения. Поэтому цель работы состояла в изучении процесса трансформации тропических циклонов на полярном фронте. Для успешной реализации поставленной цели был проведен барико-циркуляционный анализ наиболее характерных случаев трансформации и предложен количественный индикатор процесса трансформации для дальнейшего использования его в прогностических целях.

На примере трех тропических циклонов – Лайонрок, Халонг и Омаис – было выделено два основных сценария их трансформации на полярном фронте.

Для первого сценария (ТЦ Лайонрок) необходимо существование полярно-фронтального циклона над Приморьем, а в средней и верхней тропосфере над Курильскими островами и Охотским морем высокого малоподвижного антициклона. Наличие последнего предопределяет отклонение тайфуна от традиционного пути перемещения. Вместо дальнейшего движения в западном переносе тайфун получает восточную составляющую и после Японских островов поворачивает к побережью Приморского края, где и встречается с полярно-фронтальным циклоном. В этом случае ТЦ вливается в теплый сектор ПФЦ, интенсифицируя его. Развитие процесса трансформации по такому сценарию почти всегда вызывает стихийные бедствия: увеличение осадков, ураганные ветры.

Для второго сценария (ТЦ Халонг и Омаис) необходимо только, чтобы полярный фронт сместился на юг. При приближении тайфуна к полярно-фронтальной области холодный фронт начинает смещаться в направлении ТЦ, вытесняя теплый воздух из тыльной части тайфуна, в результате чего он теряет термическую симметричность. Таким образом формируется холодный сектор нового образовавшегося полярно-фронтального циклона. При этом также, как и в первом случае, в этом новом циклоне происходит интенсификация теплого фронта. Такие тайфуны, как правило, не приходят на континент, а продолжают движение над океаном. Следовательно, катастрофических осадков над Приморьем они не вызывают.

Для количественной оценки интенсивности тропических циклонов и прогноза их трансформации предложен интегральный индекс относительной спиральности. Показано, что значения интегрального индекса относительной спиральности тропического циклона во всех рассмотренных случаях примерно за 6 часов до начала трансформации начинают интенсивно расти. При этом различные сценарии самой трансформации на этот рост не влияют. Таким образом, предлагаемый интегральный индекс относительной спиральности, при использовании его вместе с анализом

температуры на уровне 850 гПа, можно использовать для краткосрочного прогноза трансформации тропических циклонов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛУБОКОЙ КОНВЕКЦИИ В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ

Федоров А.М.^{1,2}, Белоненко Т.В.¹

¹СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

²ФОНД «НАНСЕН-ЦЕНТР», г. Санкт-Петербург, Россия
aandofficially@gmail.com

Ключевые слова: Норвежское море, Лофотенский вихрь, глубокая конвекция, ВКС, MIT, ARGO.

Лофотенская котловина Норвежского моря характеризуется наличием в ней квазипостоянного антициклонического Лофотенского вихря, расположенного в центре котловины между $68^{\circ} - 72^{\circ}$ с. ш. и 2° з. д. – 10° в. д., распространяющегося до самого дна (до 3250 м) [1–3]. Одним из ключевых механизмов поддержания термохалинной структуры квазипостоянного Лофотенского вихря является динамическая активность Норвежского течения, генерирующего множество мезомасштабных вихрей, отрывающихся от его восточной ветви и переносящих на запад теплые и соленые воды, которые, перераспределяясь по котловине, значительно влияют на образование глубинных океанских вод. Этот процесс определяет Лофотенскую котловину как основной тепловой резервуар субарктических морей. Также Лофотенская котловина одновременно является энергоактивной зоной, которая напрямую влияет на климат Европы и условия судоходства по северному морскому пути в экономической зоне России.

Глубокая конвекция выступает другим важнейшим механизмом, оказывая непосредственное воздействие на формирование линзообразной структуры в центре Лофотенской котловины [3]. Глубина верхнего квазоднородного слоя (ВКС) характеризует интенсивность глубокой конвекции.

Мы анализируем глубокую конвекцию в акватории Лофотенской котловины на основе данных гидродинамического моделирования при помощи MITgcm с пространственным разрешением 4×4 км за период 1993–2012 гг. [4] и профилей температуры и солености буев ARGO за период 2002–2017 гг. Глубина ВКС рассчитывалась методом Духовского (не опубликован). Проведено сравнение метода Духовского с методом Kara et al. [5] и показано, что метод Духовского для оценки глубокой конвекции является более точным. Получены оценки межгодовой изменчивости максимальных глубин ВКС в Лофотенском вихре. Установлено, что по данным модели MIT конвекция может охватывать слой до 950 м, а по данным ARGO до 1100 м. Показано, что наибольшей интенсивности конвективные процессы в Лофотенском вихре достигают в марте.

Работа выполнена при поддержке РНФ, грант № 18-17-00027.

Литература

1. Белоненко Т.В., Волков Д.Л., Норден Ю.Е., Ожигин В.К. Циркуляция вод в Лофотенской котловине Норвежского моря // Вестник СПбГУ. – 2014. – Сер. 7, № 2. – С. 108–121.
2. Volkov D.L., Belonenko T.V., Foux V.R. Puzzling over the dynamics of the Lofoten Basin – a sub-Arctic hot spot of ocean variability // Geophys. Res. Lett. – 2013. – 40, 4. – P. 738–743. doi:10.1002/grl.50126.
3. Блошкина Е.В., Иванов В.В. Конвективные структуры в Норвежском и Гренландском морях по результатам моделирования с высоким пространственным разрешением // Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. – 2016. – № 361. – С. 146–168.
4. Колдунов А.В., Колдунов Н.В., Волков Д.Л., Белоненко Т.В. Применение спутниковых данных для валидации гидродинамической модели Северного Ледовитого океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т. 12, № 6. – С. 111–124.
5. Kara A.B., Rochford P.A., Hurlburt H.E. Mixed layer depth variability over the global ocean // J. Geophys. Res. – 2003. – 108, C3. – 3079. doi:10.1029/2000JC000736.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АКВАКУЛЬТУРЫ МАКРОВОДОРОСЛЕЙ: ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ПРОДУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Филиппова Т.А., Васечкина Е.Ф.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
deryabina1993@yandex.ru*

Ключевые слова: марикультура, макроводоросли, биогенные элементы.

В прибрежных областях ключевую роль в автотрофных процессах играет фитобентос. Именно в фитоценозах мелководной зоны продуцируется до 90% всего органического вещества. Соответственно, макроводоросли бентосных фитоценозов производят большую часть растворенного кислорода, который используется затем на окисление взвешенной и растворенной органики, в большом количестве производимой в мелководных экосистемах прибрежной области. Таким образом, вероятность возникновения условий гипоксии либо заморозов в этих областях в большой мере зависят от плотности и пространственного распределения фитобентоса.

Кроме того, на сегодняшний день макроводоросли являются ключевым объектом марикультуры. Они нашли свое применение в пищевой, косметической и фармацевтической продукции. В связи с важностью функции макроводорослей в экосистемах и практической значимостью исследования их продукционных процессов, вопросы математического моделирования динамики роста и обменных процессов водорослей являются особенно актуальными. В работе предложена математическая модель, позволяющая численно воспроизводить процесс роста водоросли в зависимости от внешних условий: освещенности, температуры, концентрации биогенных веществ (минеральных форм азота и фосфора) в окружающей среде.

Модель основана на постулате, что при заданных освещенности и температуре воды рост водорослей зависит от концентрации нутриентов в тканях растения, сопровождается изъятием

биогенных элементов из окружающей среды и выделением органических соединений. Содержание азота и фосфора в тканях меняется в ходе продукционных процессов. При увеличении концентрации биогенных элементов в морской воде водоросль быстро поглощает эти вещества, запасая их в своих тканях. Затем в процессе фотосинтеза часть запасов используется растением при продуцировании органического вещества.

Скорость фотосинтеза в модели вычисляется в единицах кислорода, выделяемого в единицу времени на 1 грамм сухого веса водоросли, как функция освещенности и температуры среды. Затем эта величина умножается на минимальное значение двух функций концентрации азота и фосфора в тканях водоросли, меняющихся в интервале от 0 до 1.

По выделенному в процессе фотосинтеза кислороду рассчитывается прирост сухой массы водоросли. Используя соотношение между кислородом и углеродом в CO_2 , оценивается количество изъятых из воды углерода, по которому, опираясь на литературные данные по содержанию углерода в сухом веществе тканей водорослей, рассчитывается приращенная масса сухого вещества.

Удельная скорость изъятия азота и фосфора определяется по эмпирическим зависимостям, полученным К.М. Хайловым, в основе которых лежит закон Моно. Количество поглощенного элемента влияет затем на содержание его в тканях водоросли.

Продуктивность растений тесно связана с их морфологией. Для макроводорослей общепринятой морфологической характеристикой является отношение площади поверхности к массе (объёму) водоросли. В работе проанализированы зависимости фотосинтетических параметров для нескольких макроводорослей от данной характеристики и сделан вывод о том, что связь между ними имеется, но для ее параметризации в целях моделирования требуются дополнительные лабораторные эксперименты.

ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ВОД В АКВАТОРИИ ВОСТОЧНОГО СИВАША

Хмара Т.В.

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

Ключевые слова: динамика вод, уровень моря, рельеф дна, численное моделирование, залив Сиваш, Азовское море.

Инструментом анализа и прогноза поведения экосистемы мелководного залива Сиваш при изменении внешних воздействий природного и антропогенного характера является модель функционирования экосистемы.

Залив Сиваш является наиболее антропогенно и техногенно нагруженной акваторией прибрежной зоны Крыма со специфическими гидродинамическими и гидрохимическими процессами, обусловленными орографией берегов, особенностями рельефа дна и малыми глубинами, водообменом с Азовским морем.

Гидродинамический режим мелководного залива Сиваш зависит от морфометрических параметров водоема, не связан с соответствующим режимом Азовского моря. Волновой режим залива ослаблен, это связано, прежде всего, с общей мелководностью и незначительной площадью акваторий, не позволяющей развиваться значительным по размерам волнам. Из-за Арабатской стрелки уменьшается роль морского волнения и течений, особенно при северо-восточных штормах, имеющих максимальную длину разгона из-за особенностей конфигурации Азовского моря.

Для изучения особенностей динамики вод в акватории Восточного Сиваша, а также случаев проникновения морских вод в залив при функционировании пролива Тонкий используется численная, нестационарная гидротермодинамическая модель. При расчетах акватория покрывалась горизонтальной расчетной сеткой с шагом 1000 м. Скорость и направление ветра задается на основе данных наблюдений. В начальный момент времени распределение температуры и солёности по вертикали однородно.

Результаты расчетов установившихся ветровых течений показали, что пространственная структура течений представляет собой ряд локальных вихревых образований, расположенных главным образом в южной части Восточного Сиваша, что обусловлено особенностями геоморфологического строения залива. Орография берега Восточного Сиваша очень сложна, а его южная и центральная части представляет собой цепь углубленных котловин, разъединенных мелководными участками. Проведены расчеты при продольных и поперечных (по отношению к оси лимана) ветрах и показано, что в поверхностном слое горизонтальные векторы течений направлены по ветру, а в придонном – в обратном направлении (за исключением прибрежного мелководья). Циркуляция вод характеризуется наличием нескольких вихревых ячеек, расположенных вдоль оси залива, которые препятствуют распространению водных масс вдоль акватории. В южной части Восточного Сиваша в поле средних по вертикали течений наблюдается циклонический круговорот.

Были получены схемы течений и колебаний уровня в Восточном Сиваше при метеоситуациях, соответствующих маю-июлю 2014 г. (ветры восточных и западных румбов). Показано, что на мелководных участках акватории, ориентированных в направлении ветра, поверхностные течения интенсифицируются. Установлено, что даже слабое усиление ветра приводит к значительным колебаниям уровня. Так, перепад уровня увеличивается в пять раз по сравнению с картиной уровня для стационарного ветра 4 м/с.

Численные эксперименты показали, что модель устойчиво работает при ветре силой 10 м/с с шагом по времени более 1 с (для баротропной моды). Модельные результаты, полученные при ветрах силой 4 м/с (среднегодовая величина) и 10 м/с, подтверждают работоспособность модели. Особенности рассчитанной по модели ветровой циркуляции вод соответствуют известным из теории морских течений и наблюдений представлениям о структуре ветровых течений в заливах и бухтах.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме 0827-2018-0004 «Прибрежные исследования».

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ С УЧЕТОМ МИНИМИЗАЦИИ УЩЕРБА РЕКРЕАЦИОННЫМ ЗОНАМ ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРА СЕВАСТОПОЛЯ

Цыганова М.В., Рябцев Ю.Н.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
m.tsyganova@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: прибрежная зона, сопряженная задача, перенос примеси.

Рассматривается задача о распространении загрязняющей примеси в районе Севастопольской бухты. В качестве природоохранного объекта выбрана рекреационная зона пляжа на мысе Хрустальный, Артбухта и набережная центра города.

На первом шаге решаем сопряженную задачу переноса примеси и вычисляем функцию влияния. Определяем области побережья, размещение в которых источников загрязнений может нанести ущерб природоохранному объекту при заданной ветровой ситуации. На следующем шаге решаем несколько вариантов прямой задачи (при различных размещениях источников примеси) и проверяем соответствие результатов решений прямой и сопряженной задач.

В уравнении, сопряженном по отношению к уравнению переноса примеси, в правой части стоит функция $p(x, y, z, t)$, представляющая собой функционал $J = \int_0^T dt \int_G p C dG$, который можно вычислить после решения прямой задачи, причем при заданной функции p функционал J зависит только от концентрации C . Функция p задается таким образом, чтобы функционал J представлял собой среднюю концентрацию примеси, поступившей в природоохранную зону за время T . Тогда согласно принципу двойственности получаем распределение средней (по объему и по времени) концентрации примеси в природоохранной зоне – функционал J , зависящий от координат и мощности источника.

Потребуем выполнения условия $J \leq J_{кр}$, где $J_{кр}$ – критическое значение искомого функционала, связанное с санитарной нормой для рассматриваемой области. Теперь можно выбрать оптимальное положение источника (при фиксированной мощности).

Для расчета течений используется обобщенная на случай учета рэлеевского трения трехмерная баротропная линейная модель Фельзенбаума. Для расчетов использовалась модель с семью горизонтами и шагами по горизонтали $\Delta_x = 15,8$ м, $\Delta_y = 22,2$ м. Численные эксперименты проведены для основных направлений ветра. Напряжение ветра горизонтально однородно с амплитудой $1 \text{ см}^2/\text{с}^2$ (~ 8 м/с). Расчеты в прямой и сопряженной задаче проводились на 2 суток. Мощность источника принималась равной 1 т/мин.

Получено, что наиболее опасными являются ветра северных и северо-восточных румбов, поэтому объекты хозяйственной деятельности, размещенные на Северной стороне Севастопольской бухты, могут оказать существенное влияние на санитарное состояние природоохранной зоны. При южном ветре потенциальную опасность представляют только источники загрязнения, размещенные на побережье самой рекреационной зоны. В случае ветров восточных и юго-восточных румбов наибольшую потенциальную опасность представляют возможные источники загрязнения, расположенные в Южной бухте. Для западного ветра зоной влияния является район открытого моря, прилегающий к входу в бухту.

По результатам моделирования выявлены районы, размещение в которых источников загрязнения приведет к нарушению санитарных норм в рассматриваемой природоохранной зоне. Эти результаты получены для установившихся течений, возбуждаемых достаточно сильным ветром. Течения рассчитывались в рамках линейной баротропной модели, коэффициенты турбулентной диффузии полагались постоянными. Учет этих факторов требует дополнительного рассмотрения.

Работа была выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2014-0004.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ МОРЯ

Чухарев А.М.

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

Ключевые слова: турбулентность, приповерхностный слой, нестационарная модель, натурные эксперименты.

Опыт использования крупномасштабных моделей климата и погоды показывает заметное расхождение расчетных и измеренных величин, в частности, поверхностной температуры и глубины перемешанного слоя. По мнению многих исследователей, главной причиной этого является недооценка интенсивности вертикального перемешивания в верхнем слое океана.

Вертикальный турбулентный обмен в приповерхностном слое моря определяется целым рядом процессов и явлений, в первую очередь обусловленных воздействием атмосферы. Натурные наблюдения обнаруживают существование квазипериодических мезомасштабных и субмезомасштабных структур в сопряженных слоях моря и атмосферы, которые могут влиять на характер взаимодействия, увеличивая интенсивность вертикальных потоков импульса. С целью улучшения параметризации процессов взаимодействия двух сред, была разработана нестационарная модель для приповерхностного слоя моря, учитывающая многочасовые, в т. ч. внутрисуточные колебания потоков импульса и энергии из атмосферы. Важным отличием предлагаемой модели от традиционно используемых является также учет взаимодействия волновых движений с турбулентностью, вследствие чего в уравнении баланса турбулентной энергии появляется дополнительный член, характеризующий турбулентный перенос волновой энергии.

Расчеты по предложенной модели показывают увеличение интенсивности взаимодействия атмосферы и моря по сравнению со стационарными условиями при одинаковых средних величинах

потока импульса из атмосферы. В частности, существование квазигармонических колебаний с амплитудой, в два раза превышающей среднее значение, может увеличивать поток импульса на величину свыше 20%. Время реакции морской среды на атмосферные воздействия зависит от их интенсивности и частоты колебаний. Модель правильно описывает фазовый сдвиг потока импульса на разных глубинах и его затухание. Верификация модели по натурным данным демонстрирует, что учет периодичности динамического воздействия на поверхность моря улучшает соответствие расчетов и натурных измерений.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЗОМАСШТАБНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ И В АРКТИКЕ

Шокуров М.В.

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

Ключевые слова: мезомасштабные атмосферные процессы.

Приводятся результаты численного моделирования мезомасштабных атмосферных процессов в Черноморском регионе и в Арктике с использованием мезомасштабной региональной модели *WRF*. Представлены задачи, которые решаются с помощью данной модели 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.

Представлены результаты моделирования реальных мезомасштабных атмосферных процессов в Арктике, таких как полярные циклоны, новоземельская бора. Приводится описание системы оперативного атмосферного прогноза для Арктического региона на основе модели *WRF* с разрешением 10 км.

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

ОСОБЕННОСТИ БРИЗОВОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В РАМКАХ ЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ

Шокуров М.В., Краевская Н.Ю.

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

Ключевые слова: бризовая циркуляция, линейная теория, инерционно-гравитационные волны, лагранжевы траектории.

Исследование бризовой циркуляции является актуальной научной задачей. Это связано в частности с тем, что в прибрежных регионах бризовая циркуляция существенно влияет на перенос примесей, в том числе и загрязняющих, в пограничном слое атмосферы.

В рамках линейной теории бризовая циркуляция является внутренней инерционно-гравитационной волной с суточным периодом, излучаемой с поверхности. Перенос примеси в линейной теории определяется лагранжевыми траекториями частиц.

В данной работе получено линейное аналитическое решение для лагранжевых траекторий частиц в бризовой циркуляции. Рассмотрены случаи без учета (экватор) и с учетом (средние широты) влияния силы Кориолиса.

Показано, что на экваторе траектории являются эллипсами, лежащими в вертикальной плоскости. В средних широтах под влиянием силы Кориолиса и возникновения вдольбереговой компоненты скорости эллиптические траектории отклоняются от вертикальной плоскости.

Представлено пространственное распределение размеров и формы траекторий в зависимости от высоты и расстояния от берега. Приведены количественные оценки размеров траекторий.

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

СЕКЦИЯ 2
«МЕТОДЫ, СРЕДСТВА И РЕЗУЛЬТАТЫ
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
МОРСКИХ СИСТЕМ»

ПЕРЕНОС ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА
У ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРЫМА
ПРИ ВЕТРАХ РАЗЛИЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ

Алескерова А.А., Кубряков А.А., Горячкин Ю.Н.,
Станичный С.В.

МГИ, г. Севастополь, Россия
Annete08@mail.ru

Ключевые слова: взвешенное вещество (ВВ), Landsat, MODIS, субмезомасштабные процессы, апвеллинги, прибрежная динамика.

В настоящей работе на основе регулярного массива спутниковых измерений MODIS за 2003–2017 гг. и данных высокого разрешения Landsat и Sentinel-2 проводится исследование влияния интенсивных ветров различных направлений на образование и перенос ВВ в прибрежной зоне Западного Крыма. Исследуется роль ветров и особенностей топографии в формировании особенностей прибрежной динамики – струйных течений, апвеллинговых течений, и их влияния на перенос ВВ.

Среднегодовое распределение концентрации ВВ, полученное по данным MODIS/Aqua в 2003–2015 гг., показывает, что максимальная концентрация ВВ до 20 мг/л наблюдается в мелководной части Каламитского залива с глубиной менее 20 м. От м. Лукулл до м. Херсонес прибрежные воды также имеют в среднем значительно повышенные значения концентрации ВВ (до 5 мг/л) по сравнению с окружающими водами. Полоса вод с высокой концентрацией ВВ (до 2 мг/л) шириной ~ 20 км отмечается вдоль побережья от м. Евпаторийского до м. Урет. Это распределение ВВ вдоль западного берега связано с особенностями

строения и морфодинамики берегов Крыма и действием сильных штормов, в первую очередь, южного румба. Такие ветра разгоняют интенсивные длинные волны, которые приходят на западный берег Крыма с юго-западного направления и вызывают значительную эрозию берегов, особенно в районах с глинистыми берегами, а также взмучивание придонных осадков на шельфе с глубинами менее 50 м. Южные ветра, часто наблюдающиеся на периферии атмосферных циклонов, приносят большое количество дождей, которые выносят ВВ, размывая берега и сток рек. Под действием ветрового нагона возникают северные вдольбереговые течения, которые переносят взмученные воды на север вдоль побережья. Взаимодействие потока вод с особенностями топографии приводит к возникновению вихревых структур. Вихри способны переносить ВВ через изобаты в глубоководную часть моря, осуществляя вентиляцию шельфа Западного Крыма.

При действии ветров восточных румбов основная область взмучивания также сосредоточена в Каламитском заливе. Из-за отсутствия воздействия волн на берег концентрация ВВ в этом случае равна 1–5 мг/л, что значительно ниже, чем для южных ветров. Поэтому их влияние на среднее распределение концентрации ВВ гораздо менее значимо.

Особенностью действия северных и северо-западных штормов является образование интенсивного южного вдольберегового струйного течения вдоль западного побережья. Течение возникает на фронтальной зоне апвеллинга, образующегося при таких ветрах южнее м. Тарханкут и м. Херсонес. Поток переносит ВВ на юг от Каламитского залива и м. Лукулл. После м. Херсонес течение отрывается от побережья и выносит большое количество берегового материала в открытое море. Концентрация ВВ в этом случае составляет 1–4 мг/л и также значительно ниже, чем при воздействии южных ветров. Однако вынос ВВ при северо-западных штормах может иметь важное значение для вентиляции прибрежной зоны Крыма, особенно в районе от м. Лукулл до м. Херсонес.

ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ВЗВЕШЕННОГО В ВОДЕ ВЕЩЕСТВА

Антоненков Д.А.

МГИ, г. Севастополь, Россия
e-mail: dmitry_science@mail.ru

Ключевые слова: технические средства, приборы, концентрация взвеси, размерный состав, обработка фотоизображений, транспорт наносов.

В современных условиях оперативный контроль параметров взвешенного в воде вещества донных наносов и связанного с ними изменениями береговой линии и рельефа дна необходим для выполнения работ по укреплению и сохранению берегов и пляжей в курортных зонах. Также полученные данные могут применяться для контроля динамики загрязнений водной среды в прибрежных районах. Одними из основных характеристик водной среды, во многом определяющие потоки наносов, являются концентрация и размерный состав взвешенного в воде вещества. Разработка новых технических и программных средств контроля, которые позволяют получать вертикальные распределения концентрации взвешенного вещества и его размерный состав, является актуальной и важной задачей.

Для ее реализации был разработан метод, отличающийся от существующих применением высокоскоростной фотосъемки тонкого слоя воды с частицами взвеси, непосредственно примыкающего к иллюминатору, позволяющий одновременно получать оперативные данные о концентрации и размерном составе взвешенных в воде частиц при больших скоростях их перемещения и высокой концентрации.

Для реализации данного метода был создан прибор-фоторегистратор, основными элементами которого является разработанная система импульсной подсветки на базе кольцевой газоразрядной лампы и фотоаппарат. Для обработки и анализа полученных снимков применяется созданное, специализированное программное обеспечение, которое позволяет определять

размерный состав частиц на изображении и при заданном объеме их концентрацию.

Для апробации метода был сконструирован испытательный стенд, позволяющий создать поле взвеси с неким вертикальным распределением её концентрации и получить серии экспериментальных фотоизображений среды.

Выполненная проверка работоспособности методики путем сравнения данных, полученных с помощью разработанного метода, с данными, полученными стандартными, аттестованными методами ситового просеивания и взвешивания показала достаточно высокое совпадение результатов.

Разработанный метод позволяет получить данные о размерном составе частиц в диапазоне 50–1000 мкм, а также определить концентрацию взвеси с погрешностью ~ 12%. Данный метод может быть технически реализован для приборов, предназначенных для проведения измерений *in situ*, при использовании специализированных технических средств, позволяющих получать короткие значения времени экспозиции, например, использующих электронно-оптический преобразователь, действующий как усилитель яркости (*image intensifier*) и быстродействующий электронный затвор.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК, ХЛОРОФИЛЛА «А» И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А., Латушкин А.А.,
Федирко А.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
sevsalat@gmail.com*

Ключевые слова: спутниковые данные, концентрация хлорофилла «а», коэффициенты диффузного ослабления света и яркости моря, температура поверхности моря, Черное море.

Исследование климатических тенденций в изменении биопродуктивности вод является составной частью большинства экологических программ. Несмотря на возобновление регулярных контактных измерений биооптических параметров в Черном море их пока недостаточно, чтобы достоверно описать нормальный сезонный цикл. В связи с чем, для расширения представлений об изменчивости биооптических полей в поверхностном слое моря большую популярность получили дистанционные спутниковые измерения. Благодаря анализу современных спутниковых цифровых массивов данных 3-го и 4-го уровней с высоким пространственным разрешением, в настоящей работе уточняются региональные особенности сезонной изменчивости температуры и биооптических характеристик на всей акватории Черного моря и оцениваются их взаимосвязи на внутрigoдовом масштабе.

В работе использовались среднемесячные значения концентрации хлорофилла «а», среднесуточные значения показателя диффузного ослабления света на длине волны 490 нм ($K_d(490)$) и коэффициента яркости моря на длине волны 555 нм ($R_{rs}(555)$), измеренные спутниковыми сканерами MODIS-Aqua и NPP-VIIRS и среднесуточные значения температуры поверхности моря, измеренные радиометром высокого разрешения (PFV52) AVHRR. По среднесуточным значениям ТПМ, $R_{rs}(555)$ и $K_d(490)$ в каждом узле сетки были получены временные ряды их среднемесячных

значений для каждого года. Затем среднемесячные ряды значений ТПМ, концентрации $Chl-a$, $R_{rs}(555)$ и $K_d(490)$ приводились к климатическому виду помесечным осреднением за весь период 1998–2017 гг. Для оценки уровня сезонной изменчивости ТПМ, $Chl-a$, $R_{rs}(555)$ и $K_d(490)$ по их среднемесячным рядам рассчитывались среднеквадратические отклонения (СКО) для каждого года, которые затем осреднялись за 20 лет ($СКО_{\text{сез}}$).

Выявлены области с максимальной внутригодовой изменчивостью этих характеристик. Получено, что на западном шельфе моря наблюдается общее повышение значений $СКО_{\text{сез}}$ ТПМ, $Chl-a$ и $K_d(490)$. Максимальные значения $СКО_{\text{сез}}$ ТПМ наблюдаются в самой мелководной части северо-западного шельфа ближе к Одесскому заливу, где наиболее выражены процессы сезонного прогрева и выхолаживания вод. Максимальные значения $СКО_{\text{сез}}$ $Chl-a$ и $СКО_{\text{сез}}$ $K_d(490)$ наблюдаются ближе к Днепро-Бугскому, Днестровскому лиманам и к дельте р. Дунай, где наиболее сказывается влияние речного стока. При уменьшении уровня сезонной изменчивости ТПМ у северных берегов моря наблюдается понижение уровня $СКО_{\text{сез}}$ $Chl-a$ и $K_d(490)$, тогда как у южных берегов, наоборот, низкий уровень сезонной изменчивости ТПМ сопровождается повышением $СКО_{\text{сез}}$ $Chl-a$ и $K_d(490)$. Максимальные величины $СКО_{\text{сез}}$ $R_{rs}(555)$, так же как и $СКО_{\text{сез}}$ $Chl-a$ и $K_d(490)$, прослеживаются в области проникновения азовских вод через Керченский пролив. В качестве отличия от распределений $СКО_{\text{сез}}$ $Chl-a$ и $K_d(490)$ на северо-западном шельфе можно отметить смещение максимума $СКО_{\text{сез}}$ $R_{rs}(555)$ в Каркинитский залив. Еще одно отличие отмечается на западном шельфе, где, помимо основного максимума $СКО_{\text{сез}}$ $R_{rs}(555)$ в районе дельты Дуная, наблюдается увеличение его значений ближе к свалу глубин. Повышенные значения $СКО_{\text{сез}}$ $R_{rs}(555)$ прослеживаются во всей восточной части моря. Положение области минимальных значений $СКО_{\text{сез}}$ $R_{rs}(555)$ к западу от Крыма над свалом глубин качественно совпадает с положением области минимальных значений $СКО_{\text{сез}}$ $Chl-a$ и $K_d(490)$.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ЧЕРНОГО МОРЯ В АНТИЦИКЛОНИЧЕСКИХ ВИХРЯХ ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНОМ АТМОСФЕРНОМ ФОРСИНГЕ

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

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

Ключевые слова: дрейфтер, изотерма, антициклонический вихрь, Основное черноморское течение.

По материалам дрейфтерного эксперимента в западной части Черного моря, выполнявшегося в 2004 г. (август-октябрь), 2012 г. (декабрь) и 2014 г. (январь-февраль) анализировались процессы перемешивания в зоне Основного черноморского течения (ОЧТ). Материалы дрейфтера № 49169 в 2004 г. представляли процессы перемешивания, характерные для синоптического антициклонического вихря в северной ветви ОЧТ. Дрейфтеры № 249940 в 2012 г. и № 248990 в 2014 г. находились в стрежне течения, первый в северной, а второй в южной ветви ОЧТ.

Захваченный синоптическим вихрем дрейфтер № 49169 зафиксировал вблизи западной периферии вихря понижение средней температуры верхнего квазигомогенного слоя (ВКС) на $0,2^{\circ}\text{C}$ в течение суток. Усилившийся до $10\text{--}12\text{ м/с}$ ветер северного направления при понизившейся на $3\text{--}4^{\circ}\text{C}$ температуре воздуха увеличили теплоотдачу с поверхности моря в 5 раз. Это привело к возрастанию конвективного перемешивания, но одновременно с этим включился механизм апвеллинга, характерный для периферии антициклонического вихря. Поэтому коэффициент турбулентного перемешивания K_z для этого случая составлял около $17 \times 10^{-5}\text{ м}^2/\text{с}$, что соответствует оценкам, полученным для перемешивания в вихрях. В центральной части вихря зафиксировано заглубление изотермических поверхностей (проникновение вод ВКС в сезонный термоклин и холодный промежуточный слой (ХПС)).

Исследование перемешивания в северной и южной ветвях ОЧТ в отсутствии синоптических вихрей при умеренном (2012 г.) и сильном (2014 г.) холодных (арктических) вторжениях показало, что этот процесс регулируется скоростью течения. Величина суммарного потока тепла ($H+LE$), необходимого для понижения средней температуры верхнего 10-метрового слоя ВКС на $0,1^{\circ}\text{C}/\text{сут.}$ оценивается в $9\text{--}10 \text{ Вт}/\text{м}^2$. В зоне действия ОЧТ при возрастании скорости течения наблюдается заглупление сезонного термоклина и ХПС, а при уменьшении скорости течения – подъём этих поверхностей на меньшие глубины.

АНАЛИЗ ^{210}Pb В МОРСКОЙ ВОДЕ СОРБЕНТАМИ ИМПРЕГНИРОВАННОГО ТИПА НА ОСНОВЕ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Бежин Н.А.¹, Довгий И.И.², Выдыш А.А.^{1,2}, Янковская В.С.³

¹*СевГУ, г. Севастополь, Россия*

²*МГИ, г. Севастополь, Россия*

³*ФБУЗ «ЦГиЭ в РК и гфз Севастополе», г. Севастополь, Россия
nickbezhin@yandex.ru*

Ключевые слова: ^{210}Pb , морская вода, сорбенты, краун-эфир, поданды.

^{210}Pb относится к природным радионуклидам особо высокой токсичности. Основной путь его поступления в организм человека – по пищевым цепям. Он накапливается в костной ткани и вносит существенный вклад в дозу внутреннего облучения.

Для анализа ^{210}Pb в морской воде нами предлагаются сорбенты импрегнированного типа на основе краун-эфиров и различных разбавителей (октанола-1, нитробензола, спирта-теломера n3), в том числе ионных жидкостей, а также на основе фосфорилподанда (1,8-бис[2-(дифенилфосфорилметил)фенокси]-3,6-диоксаоктана).

Показана эффективность сорбентов на основе раствора дитрет-бутилдициклогексил-18-краун-6 в спирте-теломере n3 при

извлечении свинца из азотнокислых и солянокислых растворов и сорбентов на основе раствора ди-*трет*-бутилдициклогексил-18-краун-6 в ионной жидкости $C_4mim^+Tf_2N^-$, а также сорбента на основе фосфорилподанда, при извлечении свинца из нейтральных растворов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научного проекта № 18-43-920004, государственного задания ФАНО Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № 0827-2018-0003).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОН БЫСТРОГО ТРАНЗИТА И РАЗГРУЗКИ КАРСТОВЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

**Богуславский А.С., Казаков С.И., Лемешко Е.Е.,
Берзова И.Г.**

*ЧГП РАН, нгт. Кацивели, Россия
science@bshpg-ras.ru*

Ключевые слова: Горный Крым, подземные воды, карст, разгрузка, береговая зона, известняковые наносы, отторженцы.

Целью работы является исследование зон питания и разгрузки подземных вод в пределах южного склона и береговой зоны юго-западной части Горного Крыма на примере участка детальных исследований ФГБУН «Черноморский гидрофизический полигон РАН» (район Пониловка – Кацивели – Симеиз и прилегающий с севера участок плато Ай-Петринской яйлы).

Результаты полевых исследований участка, интерпретации данных георадарного профилирования, дешифрирования космоснимков и гидрогеологического моделирования позволяют выделить основную область питания карстовых подземных вод на плато Ай-Петринской яйлы площадью около 25 км² и субмеридиональные зоны их быстрого транзита через предгорную и береговую зону Южного берега Крыма, которые ассоциируются с

тектоническими разломами по обрамлению Лименской вулканической группы (г. Пиляки-Хыр).

Этим зонам соответствуют известняковые наносы массандровской свиты – массивы-отторженцы г. Кошка и г. Биюк-Исар, соответственно к востоку и западу от г. Пиляки-Хыр, а также Качивельский и Понизовский древние оползни. Скелетную основу последних составляют «потoki» обломков верхнеюрского известняка от щебней до глыб размерами 10 м и более, которые прослеживаются от Главной гряды, предположительно по палеоруслу, вдоль подножья западного склона г. Пиляки-Хыр и далее до береговой линии и подводного берегового склона, расширяясь и разветвляясь к югу. Вблизи Главной гряды обломки лежат на поверхности в виде мощных хаотических навалов, смыкаясь с обвальными шлейфами группы отторженцев Биюк-Исара.

По мере углубления и расширения палеорусел в южном направлении, глыбы известняков все более «утоплены» в суглинистых элювиально-делювиальных оползневых отложениях мощностью до 50 м в средней части, формируя, наряду с более мелкими обломками терригенных и вулканогенных пород, тело древних оползней. Вдоль границ нижней части древних оползней отдельные глыбы известняков формируют поверхностные эратические шлейфы на примыкающих обнажениях коренных пород таврической серии.

Указанные особенности подтверждают гипотезу об одновременном формировании массивов древних оползней и отторженцев массандровской свиты как проявлений дилувиального рельефа, сформированного в результате мощной гидролого-сейсмогравитационной катастрофы в сравнительно недавнем геологическом прошлом.

Зоны субмаринной разгрузки подземных вод выявляются по результатам моделирования на траверзе г. Кошка и мысовых выступов Качивельского и Понизовского древних оползней.

Массивность и непрерывность известнякового «скелета» древних оползней и отторженцев на значительном протяжении вдоль их осевой части делают эти массивы относительно устойчивыми в оползневом отношении, а повышенная проницаемость трещиноватых известняков обеспечивает в них струйный поток подземных вод.

Полученные результаты будут использованы для усовершенствования гидрогеологической модели юго-западной части Горного Крыма с целью более достоверной оценки ресурсов подземных вод, их защищенности и уязвимости, гидрогеологической палеореконструкции формирования древних оползневых массивов массандровской свиты.

Работа подготовлена при поддержке Программы президиума РАН № 19 «Фундаментальные проблемы геолого-геофизического изучения литосферных процессов».

КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЙ МОРСКОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОЛНЕНИЯ

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

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

Ключевые слова: дистанционное зондирование, космический мониторинг, загрязнение морской среды, спектр волнения, обработка космических изображений.

Одной из актуальных проблем современной океанологии является обнаружение и идентификация различных типов загрязнений морской среды. Это связано с постоянно растущей ролью морских акваторий в жизни людей и значительным расширением форм хозяйственной деятельности, в особенности в прибрежной морской зоне.

Загрязнения морской среды проявляются, как правило, на значительных площадях, даже если их источники, такие, например, как заглубленные стоки, находятся в придонном слое. Распространяясь в водной толще, заглубленные загрязнения изменяют физические свойства морской поверхности и приповерхностного слоя, что проявляется, в том числе, в изменении пространственно-временной структуры поверхностного волнения. Такие

изменения могут быть обнаружены с помощью оптической и радиолокационной аппаратуры высокого пространственного разрешения, установленной на спутниках дистанционного зондирования Земли. Для описания пространственной структуры взволнованной морской поверхности и выявления проявлений антропогенных и естественных загрязнений, наиболее эффективным является спектральный подход, который адекватно описывает стохастический характер поверхностного волнения и характеризует физику этого явления.

В настоящей работе представлены результаты исследований пространственной структуры поверхностного волнения в зонах интенсивных антропогенных воздействий на морскую среду, вызванных заглубленными стоками. Исследования проводились в акваториях вблизи, г. Геленджик, г. Севастополь, пос. Кацивели, а также в прибрежной акватории у г. Гонолулу (о. Оаху, Гавайи, США). В ходе исследований использовались космические изображения высокого пространственного разрешения, полученные с бортов спутников Ресурс-П, WorldView, GeoEye, QuickBird, Ikonos, Sentinel-2, TerraSar-X и др. В результате проведенных исследований установлено, что во всех акваториях заглубленные стоки вызывают изменения пространственной структуры поверхностного волнения, которые проявляются в генерации дополнительных узких («квазимонохроматических») спектральных гармоник. Эти гармоники обнаруживались по пространственным спектрам изображений, регистрируемых оптической и радиолокационной космической аппаратурой. Появление таких дополнительных спектральных составляющих обусловлено воздействием внутренних волн, генерируемых заглубленными стоками на морскую поверхность и приповерхностные слои моря. Длины таких внутренних волн, оцененные по пространственным спектрам космических изображений, составили от 30 до 160 метров, что хорошо соответствовало результатам измерений с помощью гидроакустической аппаратуры и гирлянд термисторов. При этом на фоновых участках вдали от области заглубленного сброса подобных аномальных спектральных гармоник не наблюдалось.

Разработаны методы, алгоритмы и программное обеспечение для автоматизированного пространственного спектрального анализа космических изображений морской поверхности высокого

разрешения и выявления аномалий пространственной структуры поверхностного волнения, связанных с воздействием заглубленных источников загрязнений. Разработанные научно-технические решения реализованы в экспериментальном образце аппаратно-программного комплекса мониторинга структуры поверхностного волнения на основе комических оптических и радиолокационных данных.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (уникальный идентификатор проекта RFMEFI57716X0234).

ОБНАРУЖЕНИЕ ЦУГА АНОМАЛЬНЫХ ДЛЯ ЧЕРНОГО МОРЯ ВНУТРЕННИХ ВОЛН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЛЕКСНОГО НАЗЕМНО-КОСМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Бондур В.Г., Серебряный А.Н., Замшин В.В.

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

Ключевые слова: внутренние волны, нелинейные волны, шельф, ADCP, цепочка термисторов, дистанционное зондирование, радиолокационные изображения, атмосферный фронт.

Приведены результаты исследования цуга аномально больших для Черного моря внутренних волн с высотами до 16 м, обнаруженного в ходе проведения комплексного наземно-космического эксперимента. Измерения проводились в акватории около г. Геленджик с применением буксируемого акустического доплеровского профилометра течений (ADCP), гидрологического мини-зонда, заякоренной термисторной цепочки, а также путём пространственного спектрального анализа космического радиолокационного изображения, полученного в момент проведения судовых измерений.

Зарегистрированные внутренние волны имели нелинейный характер (солитоноподобная форма волновых профилей, дисперсия амплитуд, изменяющееся расстояние между гребнями и др.). Цуг внутренних волн двигался со стороны открытого моря в направлении берега и состоял из ранжированных по высоте (11–16 м) внутренних волн-возвышений с длинами 101–131 м. Вертикальные компоненты скоростей орбитальных течений во внутренних волнах достигали 0,20 м/с.

При исследовании частотного спектра, рассчитанного по данным измерений, выполненных с помощью термисторной цепочки, был выявлен ярко выраженный максимум, обусловленный внутренними волнами, соответствующий временным периодам ~ 7–8 мин. Такой максимум отсутствовал в частотном спектре фоновых колебаний термоклина.

На космическом радиолокационном изображении, полученном со спутника SENTINEL-1A во время судового эксперимента, зарегистрированы поверхностные проявления внутренних волн. По пространственным спектрам фрагментов этого изображения выявлены квазимонохроматические спектральные гармоники, соответствующие средним длинам волн 101,3 м, что хорошо соответствует средним длинам внутренних волн, измеренным по данным ADCP (101 м), а также длинам волн, вычисленным по измеренным частотным спектрам с использованием дисперсионного соотношения (103 м). Рассчитанная на основании гидрофизических параметров фазовая скорость внутренних волн составила 0,24 м/с (практически соответствует измеренной фазовой скорости пакета внутренних волн, составлявшей 0,21 м/с).

Незначительная разница в результатах измерений характеристик обнаруженных внутренних волн обусловлена некоторыми различиями в условиях проведения измерений различными методами.

Метеоданные, в том числе карты приземных барических образований, указывали на атмосферный фронт, который явился источником генерации цуга этих аномальных по высоте внутренних волн, ранее не наблюдавшихся в Чёрном море.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (уникальный идентификатор проекта RFMEFI57716X0234).

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТИ ПОЯВЛЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ВОЛН ПО МНОГОЛЕТНИМ ДАНЫМ ИСТОРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Булгаков К.Ю.

*РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия
bulgakov.kirill@gmail.com*

Ключевые слова: экстремальные волны, исторический прогноз.

Наибольшие риски экономического и экологического ущерба для хозяйственной деятельности человека в океане связаны, в основном, с экстремальными погодными явлениями на поверхности океана, к которым, прежде всего, относятся случаи сильных штормов. Особенную сложность для предупреждения чрезвычайных ситуаций, вызываемых экстремальными волнами, представляют виды деятельности, которые требуют длительного пребывания людей и техники в океане.

Один из способов минимизации рисков возможного ущерба в этом случае – использование климатических данных, для составления которых необходимы длительные ряды наблюдений. Основная характеристика ветровых волн, которая сейчас применяется – высота доминантной волны (H_s , significant wave height). Данная величина характеризует волнение в выбранный временной период, и определяется как средняя одной трети наиболее высоких (из всей совокупности) волн.

Данная характеристика не дает достаточной информации о максимально возможной высоте волн для данного поля. Экстремальные волны одной и той же величины могут появляться с различной вероятностью в волновых полях, которые характеризуются разными значениями H_s . Например, волна высотой 10 метров может возникнуть как в волновом поле с $H_s = 10$ м, так и в волновом поле с $H_s = 5$ м. Поэтому поля H_s недостаточно для оценки вероятности появления волн с высотами, превышающими

определенные значения. Необходимо также распределение вероятности по реальным высотам волн в поле, характеризуемом определенной H_s .

Был предложен алгоритм оценки интегральной вероятности волн, превышающих определенное значение h (в дальнейшем $P(h)$) по многолетним рядам данных H_s . Результаты серий экспериментов, проведенных с трехмерной моделью потенциальных волн, были обработаны следующим образом: для каждого полученного в ходе экспериментов поля высоты свободной поверхности η была рассчитана H_s , и произведено нормирование полей на соответствующие им величины H_s . Было рассчитано общее распределение интегральной вероятности безразмерной высоты волны $\tilde{P}(\tilde{H})$ для всех волновых полей. Полученное распределение аппроксимировано функцией. Предложенный алгоритм был тестирован по глобальным данным H_s исторического прогноза, рассчитанного моделью WAVEWATCH III. Прогноз был осуществлен для периода с августа 1999 по июль 2015 гг., пространственное разрешение $0,5 \times 0,5$ градуса, в качестве полей ветра использовались данные реанализа GFS. Калибровка модели и ее валидация проводится по большому количеству измерительных буюв.

С использованием вышеуказанных данных была проведена иллюстрация метода. Были рассчитаны поля вероятности возникновения волн выше 10 и 15 м. Для оценки вероятности возникновения экстремальных волн возможно применять другую формулировку, а именно – оценку высот волн, возникающих с определенной интегральной вероятностью.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-17-00124).

ОЦЕНКА БАЛАНСА ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ СВИНЦА И КАДМИЯ В ТАГАНРОГСКОМ ЗАЛИВЕ АЗОВСКОГО МОРЯ

Буфетова М.В.

*МГРИ-РГГРУ, г. Москва, Россия
mbufetova@mail.ru*

Ключевые слова: Азовское море, Таганрогский залив, загрязнение, свинец, кадмий.

Применение балансовых методов при оценке потока тяжелых металлов в морские экосистемы позволяет определить основные из них, а также приоритетные направления мероприятий по уменьшению воздействия загрязнений на морские экосистемы.

Таганрогский залив может выполнять функции как источника, так и барьера, пропускающего или задерживающего тяжелые металлы в Азовское море.

В работе использованы данные, предоставленные по запросу ФГУ «Азовморинформцентр» по концентрации свинца и кадмия в воде и донных отложениях Таганрогского залива, полученные в экспедиционных исследованиях 2017 г.

Пробы воды отбирались пробоотборной системой ПЭ-1220 в поверхностном слое. Химический анализ проб воды производился в соответствии с методикой ПНД Ф 14.1:2:4.140-98, нижний предел чувствительности для свинца – 0,0002; кадмия – 0,00001.

Пробы донных отложений отбирались пробоотборником-дночерпателем ДЧ-0.034 в поверхностном слое (0–2 см). Химический анализ производился в соответствии с методикой М-МВИ-80-2008, нижний предел чувствительности для свинца составил 0,0005 мг/г; для кадмия – 0,00005 мг/г. Указанные тяжелые металлы были измерены прибором ААС КВАНТ-Z-ЭТА.

В экосистему Азовского моря тяжелые металлы поступают с атмосферными осадками, речным стоком, в основном р. Дон, в результате судоходства и деятельности портов, со сточными водами населенных пунктов, расположенных на побережье.

Концентрация свинца в атмосферных осадках по литературным данным находится в диапазоне от 1,2–3 мкг/л, а кадмия – 0,8–1,7 мкг/л. Можно предположить, что поступление свинца на поверхность залива может находиться в пределах 2,4–6 т/год и кадмия 1,6–3,4 т/год.

Концентрация свинца в речных водах Дона в 2017 г. в среднем составляла 0,7 мкг/л, кадмия – 0,16 мкг/л. Таким образом, в залив с речными водами Дона могло поступить до 10,9 т свинца и 2,5 т кадмия.

Через Должанский пролив происходит водообмен между Таганрогским заливом и собственно Азовским морем. Из литературных источников известно, что из Азовского моря сток составляет 55,4 км³/год, а из Таганрогского залива в Азовское море – 74,1 км³/год. Средняя концентрация свинца в Азовском море составила 6,3 мкг/л, кадмия – 0,8 мкг/л; в Таганрогском заливе средняя концентрация свинца составила 4,7 мкг/л, кадмия – 0,6 мкг/л. Таким образом, поток свинца и кадмия из Азовского моря в залив составил 349,0 т и 44,3 т, соответственно. Из залива в море – 348,2 т свинца и 44,4 т кадмия.

Расчеты показали, что из воды в донные отложения в Таганрогском заливе может перейти до 27 т/год свинца и до 0,8 т/год кадмия. Исследования содержания тяжелых металлов в вертикальных колонках донных отложений Азовского моря показали, что основная часть свинца и кадмия прочно депонируется в грунтах. Поэтому оценки потоков депонирования загрязняющих веществ в донных отложениях могут характеризовать седиментационное самоочищение вод.

Из полученных расчетов можно сделать вывод, что основным источником загрязнения свинцом и кадмием Таганрогского залива являются речные воды Дона. Депонирование металлов в донные осадки является значимым фактором очищения вод залива.

СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АДВЕКЦИИ ПОТОКОВ ТЕПЛА В СЕВЕРО- ЕВРОПЕЙСКОМ БАССЕЙНЕ

Весман А.В.^{1,2,3}, Башмачников И.Л.^{1,2}

¹СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

²ФОНД «НАНСЕН-ЦЕНТР», г. Санкт-Петербург, Россия

³АНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия

anna.vesman@gmail.com, igorb1969@mail.ru

Ключевые слова: Северо-Европейский бассейн, океанические потоки тепла, изменчивость, архив ARMOR3D.

Поступление океанического тепла в Северный ледовитый океан, прежде всего, определяется меридиональным потоком атлантических вод Норвежского течения. В данной работе исследовалась сезонная и межгодовая изменчивость горизонтальных потоков тепла в основных ветвях Норвежского течения и их трансформация по мере продвижением на север от разреза «Свиной» до разреза по 78,8° с. ш. через пролив Фрама. Также исследовалась зависимость изменчивости океанических потоков тепла от характера атмосферных процессов, характеризующихся основными индексами атмосферной циркуляции (АО, NAO, индексами зонального и меридионального переносов), и от индекса АМО. Для исследования океанических процессов использовался комбинированный массив натуральных и спутниковых данных ARMOR (1993–2016 гг). Было произведено сравнение данных ARMOR с *in-situ* данными буйковых станций в проливе Фрама. Сравнение показало, что потоки, рассчитанные по массиву ARMOR, в целом обладая более сильной внутригодовой изменчивостью, воспроизводят характер сезонной и межгодовой изменчивости, полученной по натуральным данным, с достаточной точностью. Однако, в районах с присутствием плавучего льда и с увеличением глубины увеличивается различие между результатами, полученными по данным ARMOR и натуральными данными.

Потоки тепла обладают ярко выраженным сезонным ходом, но для большинства разрезов не было выделено статистически

значимых трендов в потоках тепла. Помимо сезонной периодичности, выделяется характерный период изменчивости потоков тепла порядка 5 лет.

Анализ данных показал, что связь между изменчивостью потоков тепла на разрезе «Свиной» и более северными разрезами характеризуется коэффициентами корреляции от 0,58 с потоком тепла через разрез по 71° с. ш. (Ян-Майен) с постепенным уменьшением до коэффициента корреляции 0,2 на разрезе от мыса Сёркапп и незначительным отрицательным коэффициентом корреляции на разрезе от залива Ис-фьорд.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-17-01151).

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИИ СЕРОВОДОРОДА В АНАЭРОБНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО МНОГОЛЕТНИМ ДАННЫМ

Видничук А.В., Коновалов С.К.

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

Ключевые слова: сероводород, анаэробная зона, Черное море.

Черное море является уникальным бассейном, сочетающим в себе аэробные и анаэробные условия. Благодаря постоянной устойчивой стратификации, ограничивающей вертикальный обмен в водной толще, в глубинных слоях моря образуется и накапливается сероводород.

Изучением особенностей сероводородной зоны Черного моря ученые занимались с момента ее обнаружения в 1890 г. За этот период было накоплено, систематизировано и проанализировано большое количество данных. Однако, начиная с середины 1990-х годов и до середины текущего десятилетия, интенсивность экспедиционных исследований и анализ результатов исследований были существенно снижены. Это послужило отправной точкой к обобщению исторических и современных данных и проведению

анализа многолетних изменений содержания сероводорода в анаэробной зоне Черного моря.

Начиная с осени 2015 г. Морским гидрофизическим институтом регулярно проводятся экспедиционные исследования в глубоководной части Черного моря, в результате чего было получено большое количество современных гидрохимических данных. В экспедициях пробы на сероводород отбирались из 12 батометров зондирующего комплекса «Seabird-Electronics» в предварительно подготовленные мерные колбы. Содержание сероводорода в пробах воды определяли йодометрическим методом, принимая йодопотребление на глубине залегания изопикнической поверхности $\sigma_t = 15,8 \text{ кг/м}^3$ за нулевое.

Общий характер вертикального распределения сероводорода по новейшим данным 2015–2017 гг. соответствует существующим представлениям. Наблюдается характерное линейное увеличение концентрации от глубины его появления до 500–800 м, многократное уменьшение вертикального градиента концентрации в слое 800–1200 м, слабое увеличение концентрации с глубиной в слое 1200–1750 м и относительно однородное распределение сероводорода внутри придонного слоя (1750–2000 м).

Согласно литературным данным в новейшей истории Черного моря выделяется три периода: 1) до начала 1970-х годов концентрация сероводорода оставалась постоянной в нижних слоях и убывала в верхних слоях анаэробной зоны; 2) с начала 1970-х и до середины 1990-х годов концентрация сероводорода увеличивалась как в верхних, так и в нижних слоях анаэробной зоны; 3) после середины 1990-х годов концентрация сероводорода перестала увеличиваться в нижних слоях, но продолжает увеличиваться в верхних слоях анаэробной зоны.

По данным, полученным сотрудниками МГИ с 2004 по 2017 г., средняя концентрация сероводорода слабо изменяется вблизи верхней границы анаэробной зоны ($\sigma_t = 16,4 \text{ кг/м}^3$), но в последние годы существенно увеличились пространственно-временные изменения наблюдаемых концентраций. На глубине ~ 650–700 м ($\sigma_t = 17,1 \text{ кг/м}^3$) наблюдается тенденция уменьшения концентрации, на глубине 1000 м она остается постоянной, а в

глубинных слоях (ниже 1750 м) прослеживается некоторое увеличение концентрации сероводорода. Однако этот вывод требует подтверждения экспедиционными измерениями в течение более продолжительного периода времени, а также более глубокого анализа причин наблюдаемых тенденций с учетом изменений интенсивности физических обменных процессов и вертикальных потоков органического углерода.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА МНОГОЛЕТНЮЮ ДИНАМИКУ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В СЕВЕРНОМ КАСПИИ

**Войнова М.В., Татарников В.О., Островская Е.В.,
Коршенко А.Н., Кашин Д.В.**

*КаспМНИЦ, г. Астрахань, Россия
kaspnmiz@mail.ru*

Ключевые слова: Северный Каспий, биогенный сток Волги, аммонийный азот, кремний, нитраты, климат, биогены.

Основным источником биогенных элементов в Северном Каспии является сток реки Волга, который можно рассматривать как интегральный показатель климатических изменений над европейской территорией России. Западная часть Северного Каспия находится под непосредственным влиянием волжского стока, а, следовательно, наиболее восприимчива к его колебаниям.

В работе были использованы данные по водному стоку Волги за период с 1961 по 2016 гг., по стоку биогенных элементов за аналогичный период и данные наблюдений за содержанием биогенных элементов в морской воде с 1978 по 2016 гг.

В рассматриваемый временной интервал можно выделить три периода, со среднегодовым объемом водного стока, отличающимся от среднегодового для р. Волга (243 км³): для первого периода (с 1961 по 1977 гг.) был характерен относительно малый объем стока (215,8 км³); для второго периода (с 1978 по 1995 гг.)

– повышенный объем стока ($267,7 \text{ км}^3$); в период с 1996 по 2016 гг. сток был близок к среднемноголетнему ($237,6 \text{ км}^3$).

От периода к периоду коэффициенты корреляции между биогенными элементами р. Волги и параметрами речного стока практически не изменялись, только в период большой водности биогенные элементы в большей степени коррелировали со стоком за март-апрель и датой начала половодья. Результаты корреляционного анализа показали, что сток биогенных элементов в р. Волга в период с 1961 по 2016 гг. имел положительные связи с объёмом водного стока за май-июнь, его средним годовым объёмом и средним уровнем расхода за половодье. При этом связи наблюдались со всеми биогенными элементами, за исключением нитритного азота. Таким образом, можно утверждать, что сток биогенных элементов в значительной степени зависит от объёма стока Волги, а, следовательно, и от влияющих на него климатических факторов.

Корреляционный анализ содержания биогенов в морской воде Северного Каспия и стока биогенных элементов р. Волги в половодье (период с 1978 по 2016 гг.) показал наличие положительной связи между стоком аммонийного азота за апрель-июнь и концентрацией аммонийного азота в поверхностном слое воды (район банки Большая Жемчужная приглубокого взморья). Также наблюдается положительная связь между годовым стоком нитратов и содержанием нитратов в придонном слое воды (особо выделяются районы отмелого взморья, от Волго-Каспийского канала до банки Ракушечной, а также два района в глубоководной части взморья). Положительная связь отмечается между кремнием в морской воде (район восточной части отмелого взморья южнее о. Укатный, а также район в глубоководной части взморья – только для концентрации кремния в поверхностном слое воды) и годовым стоком кремния, в частности, со стоком кремния за апрель-июнь. Необходимо отметить, что в наибольшей степени связи содержания биогенов в морской воде с их стоком проявляются в последний, средневодный, период (с 1996 по 2016 гг.).

Полученные результаты не только подтвердили связь гидрологических и биогенных параметров стока р. Волги, но и показали наличие положительных связей между содержанием

биогенов в стоке р. Волга (аммонийного азота, нитратов и кремния) и их содержанием в морской воде как в отмелей, так в приглубой части Северного Каспия.

МЕХАНИЗМЫ ПЕРЕНОСА ОСАДОЧНОГО ВЕЩЕСТВА В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ

Воронович Е.П.

*СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
geologistina@yahoo.fr*

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, позднечетвертичное осадконакопление, палеоклимат.

Позднечетвертичная история геологического развития Арктики связана с цикличными изменениями климата, сопровождавшимися изменением площади распространения морского льда в Северном Ледовитом океане (СЛО) и ледового покрова на островах и прилегающих участках суши Евразии и Северной Америки (Spielhagen et al., 2004).

В настоящее время привнос осадочного вещества в СЛО в основном осуществляется через речной сток – реки переносят большое количество взвешенного вещества и терригенного материала, которые аккумулируются в шельфовой зоне или выносятся через шельфовые моря в открытый океан (посредством течений, айсбергов и морского льда), в то время как в плейстоцене большую роль играл айсберговый разнос (Stein, 2008). Материал речного стока характеризуется определенными геохимическими и минералогическими особенностями в зависимости от дренируемых пород. Поэтому для выявления источников сноса, путей переноса продуктов денудации и восстановления условий осадконакопления в Северном Ледовитом океане была поставлена задача реконструкции схемы палеоциркуляции поверхностных течений, дрейфа морского льда и айсбергов, а также механизмов осадконакопления в Евразийском и Амеразийском бассейнах СЛО.

В данной работе предпринята попытка определения источников терригенного материала, механизмов переноса осадочного вещества и реконструкции условий осадконакопления в центральной части СЛО, основанная на информации о современных и палео-течениях (Stein, 2008) и изучении гранулометрического и геохимического состава донно-каменного материала (ДКМ) поднятия Менделеева и хребта Ломоносова. Эта информация использовалась для установления ареалов, подвергавшихся оледенению и последующему эродированию при отступлении ледников, и, следовательно, для реконструкции схемы палеоциркуляции течений и дрейфа льда и айсбергов в СЛО (Phillips et al., 2001).

Материал представлен образцами из осадочных колонок, которые были получены в ходе нескольких экспедиций: «Арктика – 2007», ARK-XXIII/3 (НЭС «Polarstern», 2008 г.) и «Арктика – 2012». В данной работе было проведено: 1) изучение петрографического состава ДКМ под микроскопом; 2) сравнение гранулометрических данных по колонкам; 3) изучение базы данных U-Pb и Lu-Hf датировок ДКМ. Осадочные колонки имеют длину от 5 до 8 м и, по оценкам имеющейся возрастной модели (Stein et al., 2010), охватывают геологическое время в последние 200 тыс. лет. Точки отбора колонок находятся на противоположных флангах каждого из хребтов (Менделеева и Ломоносова) и выбраны так, чтобы над ними была локализована фронтальная зона между круговоротом Бофорта и Трансполярным дрейфом.

В ходе работы был изучен состав терригенной составляющей донных отложений хребтов Менделеева и Ломоносова. Получены данные о геохимических и петрографических характеристиках образцов из горизонтов различного цвета и структуры, которые позволили: 1) предположить, что источниками сноса материала являются: Канадская Арктика, Аляска, Чукотка Сибирь и Гренландия; 2) выделить режимы и механизмы осадконакопления – оледенение, дегляциацию и межледниковье с пелагическим, лавинным и турбидитным осаждением материала; и 3) определить пути переноса терригенного вещества, которые в основном соответствуют главным системам течений СЛО – Трансполярное течение переносит материал от окраин морей Сибири к проливу Фрама, в то время как в Канадской котловине

происходит замкнутая циркуляция льда в круговом течении Бофорта.

АНАЛИЗ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОЛЕННОСТИ МОРСКИХ ВОД ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ТЕМПЕРАТУРЫ, СКОРОСТИ ЗВУКА И ДАВЛЕНИЯ

Греков А.Н., Греков Н.А., Сычев Е.Н.

*ИПТС, г. Севастополь, Россия
oceanmhi@ya.ru*

Ключевые слова: морская вода, соленость, скорость звука, измерения, неопределенность измерений, уравнение состояния.

Соленость является одной из важных характеристик морской воды. До настоящего времени без массовых измерений солености традиционно не обходится ни одна сколько-нибудь серьезная океанографическая экспедиция, начиная со ставшей легендарной научной экспедиции на парусно-паровом корвете «Челленджер» с 1872 по 1876 год. При океанографических исследованиях с использованием данных о солености морской воды проводится анализ и типизация термохалинной структуры морских вод, по уравнению состояния морской воды вычисляется плотность морской воды, необходимая при расчетах общей циркуляции мирового океана. Несмотря на то, что практика регулярных измерений солености морской воды в океанографии насчитывает около 150 лет, проблема правильности таких измерений остается актуальной, т.к. до сих пор не имеет своего окончательного разрешения вследствие сложности и изменчивости объекта исследования (морской воды). Существуют различные по точности, условиям применения и трудоемкости методы определения солености морской воды. С течением времени одни методы вытесняются другими более точными, оперативными и менее затратными. В настоящее время, например, в практике океанографических исследований доминирующее положение занимает метод косвенного определения солености морской воды через измерения

относительной электропроводности. Однако этот метод имеет существенные и неустранимые недостатки. Во-первых, метод измерения относительной электропроводности основывается, на достаточно условном принципе постоянства солевого состава морской воды, который совсем не выполняется в окраинных морях, аномальных зонах океанов и др. Во-вторых, существует серьезная метрологическая проблема сопоставимости измерений солёности в течение длительного времени, которая заключается в том, что стабильность химического состава стандартной морской воды не может быть обеспечена, поскольку эта вода имеет естественное происхождение. В-третьих, на измеряемую через относительную электропроводность, так называемую «практическую солёность», влияет не вся, а только ионная составляющая действительной солёности морской воды (т.е. только растворы электролитов в морской воде), хотя полная, или абсолютная, солёность является общей массовой долей всего растворенного вещества в морской воде. Кроме того, применение метода измерения практической солёности через относительную электропроводность ограничено диапазоном солёностей от 2 до 42 епс (единиц практической солёности). В силу указанных причин весьма актуальной является задача по созданию и/или развитию иных методов прямого или косвенного определения абсолютной, связанной с плотностью, солёности морской воды в полном, реальном для окружающей среды, диапазоне температур и солёностей. Такие параметры морской воды, которые связаны с ее средней плотностью существуют, к ним, в частности, относятся скорость звука и показатель преломления. В последнее время наблюдается значительный прогресс в развитии приборов (профилографов) для измерения скорости звука, что актуализирует проблему и создает предпосылки для ее успешного решения. В работе выполнен анализ метода косвенного определения абсолютной солёности морской воды с использованием уравнения состояния морской воды и данных синхронных измерений скорости звука, температуры и давления. Рассмотрено влияние неопределенности измерений входных параметров на точность результатов определения абсолютной солёности при использовании современных и перспективных приборов.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ РАДИОИЗОТОПОВ ^{32}P И ^{33}P ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ

Довгий И.И.¹, Бежин Н.А.², Выдыш А.А.^{1,2},
Козловская О.Н.¹, Кременчуцкий Д.А.¹, Проскурнин В.Ю.³

¹МГИ, г. Севастополь, Россия

²СевГУ, г. Севастополь, Россия

³ИМБИ, г. Севастополь, Россия

dovhyi.illarion@yandex.ru

Ключевые слова: морская радиохимия, трассеры, ^{32}P , ^{33}P .

Космогенные радиоизотопы ^{32}P и ^{33}P используются для изучения процессов в атмосфере и биогеохимического цикла фосфора в океане.

Для извлечения ^{32}P , ^{33}P из морской воды рядом авторов было предложено сорбционное концентрирование с использованием полипропиленовых картриджей, импрегнированных $\text{Fe}(\text{OH})_3$, с последующей радиохимической пробоподготовкой. Этот способ имеет ряд недостатков – необходимость приготовления картриджей, низкую скорость прокачки воды, вымывание $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Для концентрирования ^{32}P , ^{33}P нами был предложен гранулированный оксид алюминия (4–6 мм). Его преимуществами являются возможность прокачки воды с высокой скоростью (7–12 л·мин⁻¹), определение радиохимического выхода при концентрировании с использованием двухступенчатой системы. Далее ^{32}P , ^{33}P десорбируются 1 М NaOH, очищаются с использованием известных методик, счетные образцы измеряются с использованием жидкостно-сцинтилляционной спектрометрии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научного проекта № 18-43-920005, государственного задания ФАНО Российской Федерации (тема «Океанологические процессы» № 0827-2018-0003).

ВРЕМЕННОЕ РАЗВИТИЕ ВЕТРОВЫХ ВОЛН ПО ДАННЫМ С ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ В КАЦИВЕЛИ

Дулов В.А.¹, Кудрявцев В.Н.^{1,2}, Скиба Е.В.¹

¹*МГИ, г. Севастополь, Россия*

²*РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия*

dulov@gmail.com

Ключевые слова: морские натурные исследования, ветровые волны, анализ волнографических данных, полуэмпирические законы развития волн.

Законы развития ветровых волн лежат в основе волнового прогноза, по ним настраиваются волновые модели. Современные спутниковые средства позволяют наблюдать ветровые волны и их эволюцию на масштабах разгона волн. Интерпретацию таких данных естественно выполнять, прежде всего, в рамках законов развития. На сегодня законы развития ветровых волн при разгоне от берега опираются на обширную базу натурных измерений, но существенно меньше экспериментальных данных о развитии волн в зависимости от времени действия ветра – надежные натурные результаты представлены, по-видимому, лишь в единственной работе (Hwang, Wang, 2004).

В данном сообщении представлен анализ фрагментов временного развития ветровых волн, отобранных из базы волнографических измерений со Стационарной океанографической платформы в Качивели за 2011–2012 гг. Данные включают записи шестиэлементной решетки волнографов, а также скорости и направления ветра. Фрагменты длительностью от часа до нескольких часов соответствуют развитию ветровых волн во времени в отсутствие зыби при примерно постоянной скорости ветра.

Интерпретация данных выполнена как в рамках классических представлений с использованием скорости ветра на горизонте 10 м для получения безразмерных переменных, так и опираясь на результаты теории слабой турбулентности волн, полученные в

последние годы в цикле работ Бадулина, Захарова и др.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН МГИ № 0827-2018-0003 «Океанологические процессы» и проекта РНФ № 17-77-30019 (РГГМУ).

ВЛИЯНИЕ ПОДВОДНЫХ ХРЕБТОВ НА ФРОНТАЛЬНЫЕ ТЕЧЕНИЯ НАД НАКЛОННЫМ ДНОМ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ

Елкин Д.Н., Зацепин А.Г.

*ИО РАН, г. Москва, Россия
dmelkin@mail.ru*

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

При наличии прибрежного течения, достигающего дна моря, образуется придонный экмановский слой (ПЭС), в котором перенос воды происходит перпендикулярно направлению течения и влево от него (в Северном полушарии). В случае прибрежного циклонического течения, или антициклонического течения вокруг острова, в ПЭС происходит перенос воды от берега, в области шельфа и склона, и ее опускание по склону. При наличии устойчивой плотностной стратификации водной среды, достигая определенной глубины опускания, вода в ПЭС останавливается и конвективным образом перемешивается с вышележащими водами. В море, в зоне склона, дно нередко имеет рельеф, с наличием хребтов, каньонов, гор и впадин.

Цель работы – воспроизведение динамики ПЭС с опусканием стратифицированных вод возле хребта, на наклонном дне в лабораторных условиях.

Опыты проводились в цилиндрическом бассейне, заполненном водой, плотностью ρ , расположенном на вращающейся платформе. В центре бассейна установлен усеченный конус с

нижним основанием на дне бассейна. На внешней стороне к образующей усеченного конуса перпендикулярно наклонной поверхности прикреплена пластинка треугольной формы, меньший угол которого меньше угла конической поверхности. Пластинка расположена так, чтобы меньший угол касался верхнего основания, а сторона, противоположная меньшему углу, находилась вблизи стенки бассейна. Над верхним основанием расположен пустотелый цилиндр соединенный шлангом с сосудом Мариотта через отверстие в центре верхнего основания конуса. В верхней части цилиндра имеется щель, служащая кольцевым источником, через который из сосуда Мариотта в бассейн с постоянным расходом подается подкрашенная тимолом вода плотности ρ_1 . Поступающая в бассейн вода образует прижатое к боковой поверхности цилиндра фронтальное течение.

В случае $\rho_1 \approx \rho_0$ или $\rho_1 > \rho_0$ поступающая из источника на поверхность конуса вода сначала образовывала расширявшееся радиально антициклоническое осесимметричное прибрежное течение. Со временем ширина слоя подкрашенной воды и связанного с ним течения переставала расти даже при подаче воды из источника. И в вязком ПЭС подкрашенная вода опускается вниз по склону, выходит со временем далеко за пределы фронтальной зоны слоя подкрашенной воды. По течению за пластинкой подкрашенная вода распространяется значительно дальше, чем без пластинки.

В случае $\rho_1 < \rho_0$ возможны два различных сценария эволюции фронтального течения: первый – при небольшом $\Delta\rho$, а второй – при большом $\Delta\rho$, где $\Delta\rho = \rho_1 - \rho_0$. В первом сценарии фронт течения достигал поверхности конуса и формировался ПЭС, в котором происходило опускание более легкой воды вниз по склону. По течению за пластинкой вода распространяется значительно дальше, чем без пластинки. Со временем, ПЭС испытывал конвективную неустойчивость и распадался на трехмерные вихревые структуры, в которых вода ПЭС медленно поднималась до поверхности воды. Во втором сценарии без пластинки подкрашенная вода распространялась радиально по поверхности воды, и опускания более легкой воды не было. А возле пластинки по

течению за пластинкой было опускание более легкой воды, и возникли трехмерные вихревые структуры.

Описанные результаты лабораторных опытов хорошо согласуются с некоторыми результатами натуральных наблюдений.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 14-50-00095 и гранта РФФИ № 17-05-00381.

ВИХРЕВАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ В ВЕТРОВЫХ ВОЛНАХ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НА ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЕ

Ефремов О.И., Чухарев А.М.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
efremov39@list.ru*

Ключевые слова: комплекс аппаратуры, вихревые волны, когерентные структуры, вертикальное перемешивание.

Специальная обработка данных, полученных при измерениях на океанографической платформе в Качивели с помощью комплекса аппаратуры «Сигма» и «Восток-М», созданного в МГИ РАН, дает возможность исследовать эффекты, связанные с завихренностью поля ветровых волн.

Характерные периоды структурных неоднородностей в низкочастотном диапазоне, соответствующем модели генерации вихрей трохoidalными волнами Герстнера, определяются на основе расчета когерентности между модулем горизонтальной скорости и значениями температуры и электропроводности, измеряемыми прибором «Восток-М». Дополнительно для этой же цели используются данные измерительного комплекса «Сигма», осредненные соответствующим образом.

Функция когерентности имеет линейчатый вид, и периоды наблюдаемых максимумов находятся в интервале примерно от двух до шести минут, определяемом расчетными значениями суммарной крутизны ветровых волн. Вклад низкочастотных

волно-вихревых движений оказывается малозаметным в спектрах горизонтальных компонент скорости течения на фоне сравнительно крупномасштабных флуктуаций прибрежных потоков с такими же периодами. Однако спектры квадрата энергетической огибающей вертикальной волновой скорости также оказываются линейчатыми, и в них соответствующие волно-вихревым структурам максимумы наблюдаются непосредственно.

Корреляция между показаниями датчиков температуры и электропроводности двух различных приборов применяется для оценки размеров исследуемых вихревых структур. Провалы на графиках когерентности здесь определяются действием двух факторов: разнесением датчиков по горизонтали и масштабами имеющихся в потоке пространственных неоднородностей. В приборе «Восток-М» датчики температуры и электропроводности разнесены примерно на 0,25 м, а расстояние до комплекса «Сигма» составляет 4 м. Глубокий спад в крайней правой области частот функции когерентности означает, что неоднородности, соответствующие высокочастотному максимуму, по своим размерам много меньше 4 м. В то же время отсутствие провалов на периодах порядка шести минут должно свидетельствовать о наличии здесь структур с горизонтальными масштабами, существенно превышающими 4 м.

Индукцированные волнами вихри отличаются большей упорядоченностью по сравнению с мелкомасштабной турбулентностью, которая возникает в результате гидродинамической неустойчивости среднего течения. Вместе с тем структура поля поверхностных волн при умеренных и сильных ветрах может описываться как слабая турбулентность, и индивидуальное поведение отдельных вихрей имеет в большой мере случайный характер. С учетом дополнительного влияния мелкомасштабной турбулентности генерируемые волнами вихревые движения могут обеспечить эффективный перенос импульса, тепла, соли и различных примесей.

Средний размер индуцированного вихря определяется амплитудой волн и более чем на порядок превосходит характерный масштаб турбулентности в подповерхностном слое. Хотя энергия возникающих вихревых образований сравнительно невелика и

сравнима с энергией мелкомасштабной турбулентности, указанное преимущество в размерах вихрей позволяет считать низкочастотные волно-вихревые структуры важным перемешивающим агентом при наличии ветра.

МОНИТОРИНГ НЕФТЕПРОЯВЛЕНИЙ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКИХ ОПТИЧЕСКИХ И РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СЪЁМОК

Замшин В.В., Матросова Е.Р., Харченко В.Д., Ходаева В.Н.

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

Ключевые слова: дистанционное зондирование, космическая съемка, нефтяные загрязнения, морская поверхность, геоинформационные системы, мониторинг.

Неотъемлемой частью морской добычи и транспортировки углеводородов является загрязнение водной среды. Кроме того, известны природные механизмы поступления углеводородов в моря и океаны. В таких условиях крайне важно осуществлять мониторинг нефтяных загрязнений морских акваторий. Такая задача может решаться с использованием космических данных, в том числе – оптических и радиолокационных изображений.

В работе представлены методики и результаты обнаружения нефтезагрязненных участков Чёрного моря у российского побережья, полученные путём обработки и анализа космических изображений, принятых со спутников с оптической многоспектральной аппаратурой (Landsat-7/8, Sentinel-2A/B, временной промежуток исследования – с марта 2017 г. по август 2018 г.), а также со спутников с радиолокационной аппаратурой (Sentinel-1A/B, с января 2017 г. по август 2018 г.).

С использованием космических оптических изображений выполнялся поиск участков водной поверхности, характеризующихся аномальной кривой спектральной отражающей способности, отличающейся от фоновой в видимом и ближнем

инфракрасном диапазоне спектра. При обнаружении таких участков выполнялось их дополнительное исследование, в том числе определялся характер отличия спектра аномалии от спектра фоновой водной поверхности, пространственная форма, размеры аномального участка, его приуроченность к потенциальным источникам загрязнений и др., на основании чего делался вывод о происхождении аномалии. В качестве вспомогательных методов работы с изображениями применялась контролируемая и неконтролируемая классификация, пороговая обработка, расчёт спектральных индексов.

Ключевой этап обработки космических радиолокационных изображений заключался в выделении участков с отрицательными контрастами удельной эффективной поверхности рассеяния (УЭПР), обладающих признаками нефтяных загрязнений. Выделение таких участков производилось в интерактивном (с участием оператора-дешифровщика) режиме. Также в работе предложен метод их автоматического обнаружения, основанный на применении сканирующих окон с размером стороны до 1000 элементов разрешения.

Для повышения качества интерпретации выделяемых оптических аномалий, аномалий УЭПР, а также для обеспечения возможности комплексного анализа результатов обработки космических изображений совместно с другими геопространственными данными, была сформирована геоинформационная система (ГИС) с использованием программной среды QGIS. Сформированная ГИС тематически ориентирована на анализ нефтепроявлений в Черном море, зафиксированных по данным космических оптических и радиолокационных съёмки.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (уникальный идентификатор проекта RFMEFI57716X0234, 5.9330.2017/8.9).

ИЗМЕНЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ВОД В БАССЕЙНЕ НАНСЕНА СЕВЕРНОГО ЛЕДВИТОГО ОКЕАНА КАК СЛЕДСТВИЕ СОКРАЩЕНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА

Иванов В.В.^{1, 2, 3}

¹МГУ, г. Москва, Россия

²Гидрометцентр России, г. Москва, Россия

³АНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия

vladimir.ivanov@aari.ru

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

Современное сокращение арктического морского льда является одним из основных индикаторов изменения планетарного климата. Среднее сокращение распространения морского льда (границы 15-ти процентной концентрации льда) в последние 6 лет (после абсолютного летнего минимума 2012 г.) относительно медианы за период 1981–2010 гг., составило 30% – на пике сезонного минимума, и 5% – на пике сезонного максимума. Не вызывает сомнений, что в большей степени это сокращение морского льда вызвано атмосферными воздействиями, и в первую очередь повышением температуры воздуха. Однако, в условиях значительного расширения свободных ото льда зон и возрастания продолжительности существования таких зон формируются предпосылки для интенсификации гидрофизических процессов, которые были в значительной степени подавлены присутствием постоянного ледяного покрова. К таким процессам в первую очередь относятся термохалинная конвекция, генерация ветровых волн и приливные течения. Действие этих процессов способно обеспечить дополнительное сокращение ледяного покрова, в том числе и в зимний сезон, когда положительный атмосферный форсинг практически отсутствует. На основании анализа результатов экспедиционных исследований по международному проекту НАБОС в 2013 и 2015 гг. в докладе обсуждаются изменения вертикальной структуры вод в бассейне Нансена

по сравнению с климатической нормой 1950–1990 гг. Эти изменения наглядно свидетельствуют о тенденциях трансформации гидрологической структуры вод СЛО, которую можно ожидать в случае дальнейшего сокращения площади морского льда, которое прогнозируется в последнем докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК).

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХРЕЙ В МОРЯХ ЧУКОТСКОМ И БОФОРТА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Козлов И.Е.^{1,2}, Артамонова А.В.², Кубряков А.А.¹

¹МГИ, г. Севастополь, Россия

²РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия
igor.eko@gmail.com

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

В работе представлены результаты спутниковых наблюдений вихревых структур в районе круговорота моря Бофорта (англ. Beaufort Gyre), включающем восточную часть Чукотского моря и море Бофорта. До настоящего времени анализ вихревой активности в этом районе был основан преимущественно на результатах немногочисленных контактных измерений и модельных расчетов.

Результаты анализа получены на основе обработки изображений спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) в летнее время 2007 и 2011 гг., а также спутниковых альтиметрических измерений за период с 1993 по 2016 гг. Анализ РСА измерений показал, что около 60% от общего количества вихрей (около 3000 вихрей) являются циклоническими. Примерно половина всех вихрей наблюдалась в районах с глубинами менее 300 м. Диапазон наблюдаемых диаметров вихрей составил от 1 до 50 км, но около 80% всех вихрей имели диаметры менее

10 км. Поскольку радиус деформации Россби для района исследований составляет 10–15 км, основная часть наблюдаемых вихрей относится к субмезомасштабу.

С целью получения более полной картины вихревой динамики в районе исследований результаты РСА наблюдений были дополнены анализом альтиметрических измерений из глобального массива картированных аномалий уровня AVISO за период с 1993 по 2016 гг. с пространственным разрешением 25 км. Для автоматической идентификации вихревых структур по альтиметрическим измерениям использовался метод «угол намотки» («winding angle» – англ.). В ходе анализа выделено 153 вихря, большинство из которых наблюдалось в южной части морей Бофорта и Чукотского. Средний (максимальный) размер диаметров наблюдаемых вихрей составил около 50 км (100 км), а продолжительность жизни – 15–30 суток. Максимальные значения орбитальной скорости вихрей находились в диапазоне 10–20 см/с. Результаты совместного анализа показали, что использование спутниковых данных высокого (РСА) и низкого (альтиметрия) разрешения позволяет получить наиболее полную картину о поле вихрей на масштабах 1–100 км в этом районе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-35-60072 мол_а_дк, гранта РНФ № 17-77-30019, а также в рамках государственного задания ФАНО России по теме № 0827-2018-0002.

КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ И ВЕРТИКАЛЬНОЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ В АРКТИКЕ: РЕЗУЛЬТАТЫ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

**Козлов И.Е.^{1,2}, Риппет Т.³, Зубкова Е.В.², Грин М.³,
Линкольн Б.³, Сундфьорд А.⁴**

¹*МГИ, г. Севастополь, Россия*

²*РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия*

³*Университет г. Бангор, г. Бангор, Великобритания*

⁴*Норвежский полярный институт, г. Тромсё, Норвегия*
igor.eko@gmail.com

Ключевые слова: внутренние волны, вертикальное перемешивание, спутниковые радиолокационные изображения, натурные измерения, Северный Ледовитый океан.

В работе представлены результаты спутниковых наблюдений короткопериодных внутренних волн (КВВ) в евразийском секторе Арктики. Основу для анализа составили измерения спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) за летний период 2007–2017 гг. Анализ 4000 РЛИ позволил выделить около 6000 поверхностных проявлений КВВ в районе исследований, включающем акватории морей Гренландского, Норвежского, Баренцева, Карского, Лаптевых, а также область континентального склона севернее 80° с.ш. Впервые для столь обширного района получено поле частоты встречаемости (ЧВ) КВВ на сетке с шагом 20 × 20 км, которое дает детальное пространственное описание ключевых районов генерации и распространения КВВ в этом секторе Арктики.

Для оценки механизмов генерации наблюдаемых внутренних волн поле ЧВ было сопоставлено с модельным полем диссипации баротропной приливной энергии (ДПЭ), рассчитанном на основе данных о скорости и амплитуде приливных течений, полученных из глобальной модели приливных течений TRX08 с пространственным разрешением 1/30°. Результаты анализа показали, что значительная часть наблюдений КВВ приходится на районы, где

диссипация приливной энергии составляет более $0,01 \text{ Вт/м}^2$. При этом основные районы генерации КВВ характеризуются величиной ДПЭ $\geq 0,1 \text{ Вт/м}^2$, сильными приливными течениями и максимальными значениями топографического уклона.

Для ключевых районов наблюдения КВВ выполнен анализ измерений скорости диссипации турбулентной кинетической энергии (СД ТКЭ), полученных на основе микроструктурных измерений в различных районах Арктики. Проанализировано 458 вертикальных профилей СД ТКЭ за разные годы в период с 2007 по 2014 гг. Предварительный анализ показал высокую корреляцию между частотой встречаемости внутренних волн и скоростью диссипации турбулентной кинетической энергии в слое сезонного пикноклина. Сделан вывод о том, что КВВ играют важную роль в интенсификации вертикального перешивания в районах их регулярного наблюдения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-35-60072 мол_а_дк, гранта РНФ № 17-77-30019, а также в рамках государственного задания ФАНО России по теме № 0827-2018-0002.

СТРУКТУРА ФРОНТАЛЬНЫХ ЗОН НА ПОВЕРХНОСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ И ИХ СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

**Колмак Р.В., Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А.,
Федирко А.В.**

*МГИ, г. Севастополь, Россия
rkolmak26@yandex.ru*

Ключевые слова: Черное море, спутниковые данные, температура поверхности моря, гидрологический фронт, горизонтальный градиент температуры, сезонная изменчивость, апвеллинг, Основное черноморское течение.

На основе современного массива спутниковых данных с высоким пространственно-временным разрешением исследована структура и сезонная изменчивость температурных фронтальных

зон и фронтов Черного моря. Используется массив Black Sea High Resolution and Ultra High Resolution Sea Surface Temperature Analysis, содержащий данные спутниковых измерений температуры поверхности моря (ТПМ) за период с января 1982 по июнь 2017 гг. со среднесуточным осреднением в узлах сетки $0,04^\circ \times 0,04^\circ$. Среднесуточные значения ТПМ усреднялись для каждого месяца и затем рассчитывались среднемесячные климатические значения ТПМ.

Положение фронтальных зон определялось на пространственных распределениях полного горизонтального градиента (ПГТ) ТПМ по его значениям, превышающим в два раза и более среднее значение градиента по всей акватории (ПГТ_{ср}) для данного месяца. Положение фронтов определялось по экстремумам меридиональных (МГТ) и зональных (ЗГТ) градиентов температуры. Идентификация фронтов проводилась по диапазону температуры, соответствующему данному экстремуму, знаку меридионального (зонального) градиента и широтному (долготному) положению экстремума.

Совместный анализ карт ТПМ и распределений ПГТ, ЗГТ и МГТ показал, что формирование фронтальных зон и климатических фронтов происходит под влиянием различных факторов: крупномасштабных процессов прогрева и выхолаживания вод, их адвекции Основным черноморским течением, орографии бассейна и региональных явлений, таких как сток рек, поступление Азовоморских вод через Керченский пролив, локальные области интенсивного прогрева вод в юго-западной части моря и у Кавказского побережья, развитие Анатолийского апвеллинга и апвеллингов у берегов Крыма, формирование в прибрежной зоне многочисленных квазистационарных антициклонических вихрей и вдольбереговых течений.

На основе анализа распределений ПГТ были выделены следующие основные фронтальные зоны – Северо-западная (СЗФЗ), Западная (ЗФЗ), Турецкая прибрежная (ТПрФЗ), Фронтальная зона Анатолийского апвеллинга (ФЗАА), Юго-восточная прибрежная (ЮВПрФЗ), Северо-восточная (СВФЗ), Крымская (КрФЗ), Керченско-Феодосийская (КФФЗ). В центральной части моря широкая зона повышенных значений ПГТ условно названа

Фронтальной зоной глубоководной части Черного моря (ФЗГЧМ).

В работе обсуждаются возможные механизмы сезонной изменчивости отдельных фронтов. Установлено, что ветви Северо-западного фронта, Западный, Крымский и Керченско-Феодосийский фронты усиливаются преимущественно в зимний период, Северо-восточный фронт – в конце осени, когда наблюдается усиление контрастов между теплыми водами, переносимыми ОЧТ, и более холодными прибрежными водами. Усиление Турецкой и Юго-восточной прибрежных фронтальных зон совпадает с периодом интенсивного весеннего половодья. Фронт Анатолийского апвеллинга наиболее обострен в конце весны-летом, в период, когда в центральной части Анатолийского побережья усиливается подъем подповерхностных, более холодных вод. Фронтальная зона глубоководной части Черного моря (ФЗГЧМ) прослеживается осенью и в начале зимы, когда усиливается пространственная неравномерность выхолаживания поверхностных вод.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБРУШЕНИЙ ВЕТРОВЫХ ВОЛН

Кориненко А.Е., Малиновский В.В., Кудрявцев В.Н.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
korinenko.alex@gmail.com*

Ключевые слова: обрушения ветровых волн, натурные исследования, ориентация обрушений волн, спектр волн.

Обрушения ветровых волн (ОВВ) играют важную роль в процессах, происходящих на морской поверхности, например, связанных с газообменом между океаном и атмосферой, диссипации волновой энергии, генерации турбулентности в приповерхностном слое моря. Учет рассеяния на обрушениях важен при анализе данных дистанционного зондирования океана, в частности ра-

диолокационных. Внутренние волны, зоны конвергенции течений и другие подповерхностные процессы могут вызывать интенсификацию обрушений и проявляться в радиолокационных изображениях моря. Используемым в различных радиофизических задачах параметром является длина обрушивающихся гребней.

Обрушения являются основным источником потери энергии ветровых волн в гравитационном интервале, поэтому представления об угловом распределении ОВВ необходимы для валидации существующих моделей диссипации волновой энергии.

Несмотря на большое количество работ, посвященных исследованию статистических характеристик обрушений, практически отсутствуют их сопоставления с модельными расчетами. Недостаточно изучены ориентации длин обрушений при различных гидрометеорологических условиях.

Целью настоящей работы является анализ статистических характеристик обрушений ветровых волн, полученных в натуральных условиях, и сопоставление экспериментальных зависимостей с существующими волновыми моделями.

Для изучения статистических характеристик обрушений ветровых волн в 2015 году были проведены эксперименты на Стационарной океанографической платформе в Голубом заливе, пгт. Кацивели, Крым. Определение характеристик ОВВ осуществлялось по видеозаписям морской поверхности. Выделение обрушений на фоне морской поверхности основано на расчете порога, который определяется на основе анализа функции распределения вариаций яркости натуральных видеозаписей. Для определения физических размеров обрушений каждый кадр видеозаписи при известной геометрии наблюдений и параметрах видеокамеры трансформировался в прямоугольную систему горизонтальных координат на морской поверхности. В зависимости от значения угла поля зрения объектива видеокамеры максимальное пространственное разрешение составляло ~ 1 см, а минимальное $\sim 2,5$ см. Результатом обработки является база данных, которая содержит информацию о линейных размерах обрушения во времени и пространстве, среднем модуле скорости движения центра масс обрушивающегося гребня и его направление.

Выполненный анализ статистических характеристик обрушений ветровых волн позволяет сделать следующие выводы. В зависимости от состояния морской поверхности обрушения формируются в различных интервалах волнового спектра. При развитом волнении обрушиваются волны равновесного интервала с фазовыми скоростями, не превышающими 0,5 фазовой скорости спектрального пика. При развивающемся волнении обрушения формируются волнами вплоть до спектрального пика. Распределения длин обрушений хорошо описываются степенным законом с показателем минус 3,23.

Получено, что распределение ориентаций обрушений хорошо описывается степенью косинуса угла, при этом показатель степени уменьшается со скоростью ветра. Сопоставление модельных и экспериментальных распределений ориентаций обрушений показало их хорошее соответствие.

Исследование выполнено в МГИ по теме государственного задания № 0827-2018-0003 «Океанологические процессы».

МЕТОДИКА РАСЧЕТА БИООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИБРЕЖНЫХ ВОД СЕВАСТОПОЛЬСКОГО РЕГИОНА ПО ДАННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ

Корчемкина Е.Н., Маньковская Е.В.

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

Ключевые слова: взвешенное вещество, растворенное органическое вещество, прозрачномер, Черное море.

В докладе рассматривается методика обработки данных измерений четырехканального прозрачномера, разработанного в отделе оптики и биофизики моря ФГБУН МГИ и активно используемого в экспедиционных исследованиях. Получена система ортогональных функций для эмпирических спектров показателя ослабления света (ПОС), измеренных в 9-ти спектральных

каналах, охватывающих диапазон с 370 до 660 нм (всего 861 спектр). Измерения получены в двух рейсах НИС «Бирюза», а также на океанографической платформе в 2015 году. Данная система используется для восстановления спектрального распределения ПОС в 10 участках видимого диапазона спектра по измерениям в двух (460 и 625 нм) участках спектра. Далее применяется метод спектрального обращения ПОС и определяется содержание взвеси и растворенного органического вещества. В методе применяется способ разделения спектрального диапазона на участки с доминирующим влиянием оптически значимых компонентов и специальная итерационная процедура.

Предлагаемая методика использована для расчета биооптических характеристик по данным ПОС, полученным в двух экспедициях НИС «Бирюза» 21–22.09.2015 и 12–13.09.2015 в прибрежных водах г. Севастополя с применением 4-канального прозрачномера.

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам № 0827-2018-0002 и № 0827-2018-0004.

ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ

Котельянец Е.А. Гуров К.И.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
plistus@mail.ru*

Ключевые слова: Севастопольская бухта, донные отложения, тяжелые металлы, гранулометрический состав, антропогенная нагрузка.

Абсолютные значения концентрации металлов изменяются в широком диапазоне и зоны повышенных концентраций не всегда определяются близостью к источнику загрязнения, в результате чего сложно определить уровень загрязнения и связанную с ним величину фактора риска для биологических сообществ. В Севастопольской бухте ряд микроэлементов и тяжелых металлов в

донных осадках превышают их естественно-природное содержание. На основе полученных данных наблюдений показано, что в поверхностном слое (0–5 см) донных отложений Севастопольской бухты отмечается связь между увеличением доли мелкодисперсных илов и увеличением содержания загрязняющих элементов.

В работе представлено определение валового содержания таких микроэлементов как As, Cr, Co, Ni, Pb, Zn, V, Sr (мг/кг) и оксидов металлов TiO₂, MnO, Fe₂O₃ (%), полученных в экспедиционных исследованиях в 2016 г. в донных отложениях в акватории Севастопольской бухты. В работе использовался метод рентгенофлуоресцентного анализа, с применением спектрометра «Спектроскан Макс-G». Всего было выполнено 1200 элемент-определений. Для определения гранулометрического состава применялся комбинированный ситовой анализ (метод декантации и рассеивания).

Целью данной работы является оценка динамики загрязнения донных отложений Севастопольской бухты путем исследования физической (гранулометрический состав) и химической (содержание микроэлементов: As, Ti, Pb, Zn, Ni, Co, Cr, V, Sr, Fe, Mn) характеристик, определяющих антропогенный пресс на акваторию.

В результате исследований был проведен анализ пространственного распределения тяжелых металлов, который позволил выделить зоны повышенного содержания As, Ti, Pb, Zn, Ni, Co, Cr, V, Sr, Fe, Mn в поверхностном слое донных отложений. Отмечено, что в результате интенсификации различных природных и антропогенных процессов в акватории Севастопольской бухты за период (2008–2016 гг.), значительно изменилось соотношение важных геохимических параметров. Выполненные исследования позволили идентифицировать зоны повышенного содержания таких металлов как стронций, мышьяк, хром, никель, свинец, ванадий и железо. Данные участки были определены в Южной бухте и в центральной части б. Севастопольская.

Исследование гранулометрического состава донных осадков, отобранных в 2015–2016 гг., показало, что вещественный состав претерпел некоторые изменения. Изменения коснулись особенностей пространственного распределения содержания отдельных

фракций и их количественных характеристик. В большей степени это касается доли илистого материала, содержание которого в поверхностном слое (0–5 см) донных отложений бухты возросло в среднем в 1,5 раза. Если ранее максимальные величины содержания алевроито-пелитовой фракции отмечались в кутовых частях бухты, то в настоящее время площади распространения мелкодисперсных илов перекрывают всю центральную, восточную и южную части бухты. Максимальный прирост илистой фракции отмечается для Артиллерийской бухты. Содержание песчаного материала в поверхностном слое в среднем по акватории бухты сократилось, для бухты Южной отмечено незначительное увеличение содержания заиленных песков. Доля гравийного-галечного материала также сократилась, а максимальные значения, как и прежде, тяготеют к выходу из бухты.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0004 «Прибрежные исследования», а также при частичной поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-45-920007.

АНОМАЛИИ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЙ И ТЕМПЕРАТУРЫ В ОКЕАНЕ ПРИ СМЕЩЕНИИ СЕВЕРНОЙ ГРАНИЦЫ ГОЛЬФСТРИМА

Крашенинникова С.Б.¹, Шокурова И.Г.²

¹*ИМБИ, г. Севастополь, Россия*

²*МГИ, г. Севастополь, Россия
svetlanabk@mail.ru*

Ключевые слова: Атлантический океан, северная стена Гольфстрима, температура поверхности океана, скорость течений.

Течение Гольфстрим, перенося тепло из низких в высокие широты, играет существенную роль в формировании климата Атлантико-Европейского и Арктического регионов. Изменение положения по широте его северной границы, которую часто называют «северной стеной» Гольфстрима (ССГ), имеет важное

региональное значение, оказывая влияние на местоположение районов с высокой биологической продуктивностью в зонах температурных фронтов. Целью работы является анализ пространственного распределения и оценка аномалий скорости течений и температуры поверхности океана (ТПО) при смещениях «северной стены» Гольфстрима с использованием данных океанического реанализа. Направление смещения ССГ определялось на основе временного ряда индекса Гольфстрима 1966–2010 гг. (Taylor A.H., Stephens J.A., 1980). Положительные значения индекса соответствуют северным, а отрицательные значения – южным положениям «северной стены» Гольфстрима. Использовались данные о ТПО и скорости течений на поверхности океанического реанализа *ORAS4* за указанный временной период с горизонтальным разрешением $1^\circ \times 1^\circ$ для района $10^\circ - 65^\circ$ с.ш. Северной Атлантики. Аномалии определялись в каждом узле сетки для каждого месяца и года как отклонение от среднегололетнего значения. Анализ пространственного распределения аномалий ТПО и модуля скорости при ситуациях со значениями индекса ССГ разных знаков проводился на основе композитного анализа. Из временного ряда индекса ССГ были выбраны годы с положительными и отрицательными значениями индекса Гольфстрима за январь-февраль, для которых были построены осредненные поля аномалий ТПО и скорости течений. Статистическая значимость разницы аномалий в композитах определялась по критерию Стьюдента. При событиях смещения «северной стены» наблюдаются значимые аномалии модуля скорости течений (до 0,025 м/с) в районах северной части Гольфстрима и в месте его перехода в Северо-Атлантическое течение, Восточно-Гренландского и Канарского течений. Значимые аномалии температуры отмечаются в районе северной границы Гольфстрима (до 1°C), у берегов Пиренейского полуострова и в центральной части субтропического круговорота (до $0,3^\circ\text{C}$). Получены высокие значения коэффициента корреляции ($r > 0,5$) между временными рядами модуля скорости течений и индекса ССГ в зимний период в районе северной струи Гольфстрима. Здесь же отмечаются значения корреляции (0,5–0,6) между рядами ТПО и индекса ССГ.

Работа выполнена в рамках государственного задания институтов ИМБИ РАН и МГИ РАН по темам № АААА-А18-118021490093-4 и № 0827-2018-0001, соответственно и при частичной поддержке гранта РФФИ № 16-05-00719.

ОСОБЕННОСТИ СИНОПТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕЧЕНИЙ У ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Кузнецов А.С., Зима В.В., Щербаченко С.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
kaskasev@mail.ru*

Ключевые слова: прибрежные течения, спектр колебаний кинетической энергии, синоптическая изменчивость.

Прибрежные зоны морей и океанов являются ключевыми ландшафтными структурами, где происходит локализация, фазовые переходы и интенсивная диссипация энергии, сосредоточенной в гидросфере под воздействием ряда природных факторов. Часть этой энергии вызывает механические разрушения земной коры в контактной зоне и в придонном пограничном слое, где происходит перенос обломочных продуктов разрушения. Изменения рельефа и продуцируемый при этом поток донных наносов обусловлены литодинамикой береговой зоны и гидродинамикой прибрежных течений. Вклад природных и антропогенных факторов загрязнений при интенсификации сброса промышленно-сточных вод суши у побережья усугубляет ущерб, наносимый прибрежному морскому экотону. Перенос и эволюция загрязняющих веществ в прибрежной зоне существенно зависит от режима и локальной динамики вод.

Получение новых научных знаний о режиме, изменчивости и характерных особенностях циркуляции прибрежных течений у мыса Кикинейз Южного берега Крыма (ЮБК) является целью настоящей работы. По результатам многолетнего натурного эксперимента, проводимого Морским гидрофизическим институтом на стационарной океанографической платформе у м. Кикинейз

вертикальной антенной векторно-осредняющих эйлеровых измерителей течений типа МГИ-1308, была сформирована репрезентативная база данных мониторинга прибрежных течений за период 2005–2017 гг.

Анализ данных эксперимента позволил с высокой точностью выявить режимные характеристики и структурные особенности прибрежных течений у ЮБК. Общая циклоническая циркуляция черноморских вод относительно глубокого моря является исключительной особенностью среднесезонной динамики вод на материковой отмели. При этом направление среднего прибрежного течения в приповерхностном слое 5 м в районе исследований на удалении 500 м совпадает с ориентацией береговой линии. Установлен факт циклонического разворота вектора среднего течения от поверхностного к придонному слою, который вызван локальной неоднородностью рельефа дна. В придонном слое на горизонте 25 м среднее течение направлено вдоль соответствующей изобаты склона при сдвиге влево на 60° от направления приповерхностного течения. Данные съемки рельефа дна 1977 г. и последующих съемок исследуемой акватории демонстрируют неизменность такой формы донного рельефа в течение последних 40 лет. Максимум модуля скорости среднесезонного течения находится в приповерхностном слое и имеет величину 8,5 см/с при максимальной изменчивости среднегодовых значений в пределах $\pm 1,2$ см/с. В спектрах плотности кинетической энергии выделены интенсивные пики колебаний прибрежных течений с периодами 90 и 180 суток при скоростях течений около 30 см/с. При анализе динамики распределения изотак скоростей по глубине выделено два основных, кардинально отличающихся типа распределений, – зимний и летний. На синоптическом масштабе изменчивости достоверно выделены колебания с периодами 11,5 и 5,5 суток. При этом вихре-волновые орбитальные движения вод трансформируются в систему вдольбереговых периодически чередующихся возвратно-поступательных струйных течений. Обсуждаются причинно-следственные связи такой динамики прибрежных вод.

Выявленные особенности режима и динамики прибрежных течений способствуют корректной постановке и решению прикладных задач для устойчивого развития прибрежных зон и приморских территорий.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0004 «Прибрежные исследования».

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ НАПРАВЛЕННОГО СВЕТА В ГОЛУБОМ ЗАЛИВЕ В ПЕРИОД ИНТЕНСИВНОГО ЦВЕТЕНИЯ КОККОЛИТОФОРИД

Латушкин А.А.¹, Лемешко Е.М.^{1,2}

¹МГИ, г. Севастополь, Россия

²ЧГП РАН, пгт. Кацивели, Россия
sevsalat@gmail.com

Ключевые слова: показатель ослабления направленного света, цветение «кокколитофорид», Голубой залив, океанографическая платформа, Черное море.

В работе рассматриваются результаты измерений показателя ослабления направленного света (ПОС) в акватории Голубого залива, выполненных в конце мая 2017 г. Период проведения исследований совпал с периодом цветения в Черном море микроводорослей – кокколитофорид (*Emiliania huxleyi*). Подобное по интенсивности цветение в последний раз наблюдалось в 2012 г. Как известно, интенсивное цветение сопровождается сильной изменчивостью гидрооптических свойств за счет увеличения концентрации в воде крупной минеральной взвеси – кокколит, являющихся продуктом жизнедеятельности кокколитофорид.

В период с 26.05 по 31.05.2017 г. в светлое время суток проводились регулярные измерения показателя ослабления направленного света с океанографической платформы, расположенной в

акватории Голубого залива. Для оценки пространственно-временной изменчивости, 26.05 и 30.05 были выполнены полигонные съемки, охватывающие всю акваторию Голубого залива. Также, ежедневно выполнялся разрез от берега до платформы. При проведении измерений использовался измеритель СИПО, разработанный в отделе оптики и биофизики моря ФГБУН МГИ. В работе представлены результаты измерений ПОС на длине волны 625 нм.

Во время проведения исследований преобладало слабое восточное течение, скорость которого, в основном, не превышала 0,3 м/с в поверхностном слое. В пространственном распределении ПОС 26.05 наблюдалась высокая изменчивость – от 0,6 до 0,9 м⁻¹, в то время, как 31.05 структура была более однородной, однако величины ПОС в целом по акватории были выше – 0,9–1,1 м⁻¹. Основным сходством в пространственном распределении между двумя датами является совпадение областей более прозрачных вод вдоль прибрежной полосы восточнее пгт. Кацивели и более мутных вод вдоль западного побережья пгт. Кацивели. В прибрежной полосе, где наблюдались наиболее прозрачные воды, основным источником поступления береговых стоков является аквапарк «Голубой залив», который, на момент выполнения съемок, был еще закрыт. Вероятно, этот факт сказался на пространственном распределении ПОС. В вертикальном распределении ПОС отмечался достаточно стабильный верхний оптически однородный слой, изменчивость ПОС в котором варьировала в пределах $\pm 0,075$ м⁻¹. Наибольшей изменчивости был подвержен придонный слой, который характеризовался чередованием более прозрачных и менее прозрачных вод, относительно верхнего оптически однородного слоя. Такая изменчивость связана, как с термохалинной структурой, так и с динамикой вод. В случае, когда в исследуемой толще наблюдался термоклин, вертикальное распределение имело «классический» вид, характеризующийся наличием в термоклине вод с повышенными значениями ПОС и более прозрачными водами под термоклином. В условиях, когда происходило заглубливание термоклина и наблюдался верхний квазиоднородный слой (ВКС), распространяющийся до дна, вертикальное распределение ПОС было однородное во всей толще. Периодически появлялся придонный более

взмученный слой с повышенными значениями ПОС. Следует отметить, что различные виды вертикального распределения ПОС могли наблюдаться в течение одного светового дня.

АНАЛИЗ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ФИЗИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МОРСКИХ ОСАДКОВ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА

Лисиутин В.А., Ластовенко О.Р., Дьолог А.И.

*СевГУ, г. Севастополь, Россия
vlisiutin@mail.ru*

Ключевые слова: морские осадки, поровое пространство, проницаемость, Козени-Кармана соотношения.

Неконсолидированные морские осадки состоят из частиц несферической формы, гранулометрический состав которых может изменяться в широких пределах – от самых тонкодисперсных глин до крупнозернистых песков и гравия. При относительном движении флюида между твердой и жидкой компонентами среды будут возникать силы межфазного инерционного и вязкого взаимодействия.

Современные теории распространения упругих волн в морских осадках (GS+F, Biot+GS) требуют знания «входных параметров», связанных с физическими и геометрическими характеристиками порового пространства. В реальных средах поровое пространство имеет сложную сетевую структуру, отличную от модельной среды. Для применения теории требуется установление связи между идеализированными входными параметрами и теми характеристиками реальной среды, которые можно измерить физическими приборами.

Определяется модель частицы – шероховатая сфера. Все отклонения формы частицы от сферической относятся к параметру «шероховатость». Выводится формула и предлагается методика определения осредненной шероховатости путем сопоставления

измеренной пористости среды с пористостью среды, которая была бы составлена из шариков эквивалентного размера. Приводятся результаты измерений пористости различных песков и график относительной шероховатости в зависимости от диаметра гранул.

Проверяются Козени-Кармана соотношения, связывающие проницаемость с диаметром гранул и пористостью. Графически уточняются значения «структурной постоянной» для шариков и определяются границы изменения структурной постоянной для различных песков, в зависимости от среднего диаметра гранул. Приводится простая эмпирическая формула, связывающая проницаемость и средний диаметр гранул. Приводится методика и формула, позволяющая восстановить удельную смоченную поверхность среды.

Приводится методика определения эквивалентного размера пор, рассматривая задачу о течении жидкости с одной стороны как «внутреннюю», с другой стороны как «внешнюю» задачу гидродинамики.

Формулируется концепция геометрического, физического, а следовательно и акустического подобия сред.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В РАЗЛИЧНЫХ ЗОНАХ ПЕСЧАНЫХ ПЛЯЖЕЙ В РАЙОНЕ КУРШСКОЙ КОСЫ (БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ)

Лобчук О.И., Есюкова Е.Е., Чубаренко И.П.

*ИО РАН, г. Москва, Россия
olga_may87@mail.ru*

Ключевые слова: микропластик, песчаные пляжи, загрязнение, пластиковый мусор, Куршская коса, Балтийское море.

Картина загрязнения пластиком, в частности, микропластиком (МП, 1–5 мм) песчаных пляжей по всему миру очень неоднородна. Близость прибрежных городов/поселений, рекреационная

деятельность, близость устьев рек, как правило, связана с появлением крупных фрагментов пластикового мусора (мега/макро/мезопластик) на пляжах, в то время как фрагменты МП распределены повсюду.

Чтобы оценить загрязнение пластиком пляжей с различной антропогенной нагрузкой, был проведён отбор проб на песчаных пляжах Национального парка ЮНЕСКО Куршская коса (Балтийское море), расположенного между городами Клайпеда (Литва) и Зеленоградск (Россия). Образцы были собраны на пляжах этих городов, а также в 4 точках вдоль побережья Национального парка. Образцы песка для анализа на МП (0,5–5 мм) отбирались с поверхности пляжа в 4 зонах (по два образца на некотором расстоянии друг от друга вдоль зоны): (i) в средней части области текущего заплеска волн, (ii) на линии текущего максимального заплеска, (iii) посреди бермы (вне линий заплеска), (iv) на линии последнего штормового заплеска. Образцы песка сушили при комнатной температуре под фильтровальной бумагой, с использованием тестовых листов (площадью 100 см²) для контроля случайного внешнего загрязнения, и анализировали в лаборатории модифицированным методом NOAA.

Анализ показал, что в части проб из области заплеска присутствуют включения органического происхождения (водоросли, хитин, дерево, ракушки, янтарь), мезопластика – фрагменты волокон разного цвета и размера и микропластика – фрагменты изделий из пластмассы (размеры от 1,5 мм до 2,1 мм), волокна (размеры от 1,7 мм до 3 мм).

Экспедиция и отбор проб проведены при поддержке гранта РФФИ (проект № 18-55-76001 ЭРА_a); анализ проб в лаборатории проводится в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2018-0012).

СТРУКТУРА ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ И СВОЙСТВА ЕГО ВОД

Лобчук О.И., Чубаренко И.П.

*ИО РАН, г. Москва, Россия
olga_may87@mail.ru*

Ключевые слова: холодный промежуточный слой, термохалинная структура, температура, Балтийское море.

Работа посвящена обобщению имеющихся натуральных и среднеголетних данных о структуре холодного промежуточного слоя Балтики и свойствах его вод. Показано, что наряду с общими для всех промежуточных слоёв свойствами (расположение непосредственно над пикноклином, сложная вертикальная термохалинная структура, отличия по температуре и/или солёности от вод ВКС и глубинных вод), балтийский промежуточный слой имеет уникальную особенность: в течение длительного времени он содержит воды с температурой ниже температуры максимальной плотности (T_{md}). По результатам анализа литературы и собственных натуральных и среднеголетних данных составлен «портрет» ХПС Балтики. В частности, по среднеголетним данным показано, толщина ХПС в Борнхольмском бассейне составляет порядка 25 м, в Готландском бассейне и Ботническом море – около 40 м, в Ботническом заливе – около 30 м; площади верхней и нижней его границ составляют порядка 280 тыс. км² и 150 тыс. км², соответственно, а занимаемый объём в начале лета оценивается в 4,7–8 тыс. км³, что составляет по крайней мере 1/4–1/3 объёма моря. Также оказалось, что после суровых зим, когда вертикальная стратификация вод заметно жёстче, толщина и объём ХПС существенно меньше, чем после зим мягких и тёплых. При этом, если температура воды на поверхности в течение зимы опускалась ниже T_{md} , то чётко очерченное ядро ХПС формируется в пределах слоя зимней вертикальной конвекции; после мягких же зим – ХПС размыт и минимальные температуры отмечаются, как правило, на его нижней границе. Важно отметить, что ХПС существенно неоднороден как по вертикали (особенно в

поле температуры воды), так и по горизонтали. При этом солёность вод Балтики в целом увеличивается с северо-востока на юго-запад; низкие же температуры воды обнаруживаются в зимний период у берегов по всему периметру моря. Это предполагает, что перенос вод внутри ХПС весной в целом направлен «от мелководий – в глубокую часть» и «с юго-запада на северо-восток» по крайней мере в отдельных его подслоях. В частности, это значит, что воды прибрежных и шельфовых зон юго-восточной части проникают в промежуточные слои центральной части Готландского бассейна. В работе рассматриваются экспедиционные данные, с помощью которых впервые удалось проанализировать изменчивость глубин залегания верхней и нижней границ ХПС вдоль главной оси Балтийского моря в апреле-мае 2006 г., в период, когда ХПС только сформировался в общей термохалинной структуре вод.

Мощность ХПС, располагавшегося на глубинных от 11–36 м на верхней границе до 49–71 м на нижней границе, составила 35 ± 5 м. Глубина залегания верхней и нижней границ ХПС меняется от станции к станции очень интенсивно, и явного тренда в их изменениях не обнаруживается. Это подтверждает существенный вклад локальных мезомасштабных процессов в формирование ХПС.

Работа проводится в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2018-0012).

ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИИ ОБЩЕГО ВЗВЕШЕННОГО И РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВ В ВОДАХ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА НА БАЗЕ ОПТИЧЕСКОЙ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Ломакин П.Д., Чепыженко А.А.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
p_lomakin@mail.ru*

Ключевые слова: Керченский пролив, общее взвешенное вещество, растворенное органическое вещество.

По материалам двух комплексных океанологических съемок и подобранных из INTERNET спутниковых снимков на основе метода множественной корреляции выявлены значимые предикторы и оценена теснота статистических связей между спутниковыми данными и контактными подспутниковыми наблюдениями полей содержания общего взвешенного и растворенного органического веществ в Керченском проливе.

Показано, что для поля концентрации общего взвешенного вещества наиболее значимый предиктор обусловлен яркостью отраженного спутникового сигнала, которая фиксируется первым каналом цветового сканера Landsat 5 TM в диапазоне длин волн 0,450–0,515 мкм. Между этими величинами выявлена слабая обратная корреляционная связь с коэффициентом $R = -0,44 \div -0,49$.

Для поля концентрации растворенного органического вещества наиболее значимый предиктор – яркость отраженного спутникового сигнала, фиксируемая третьим каналом цветового сканера в диапазоне длин волн 0,630–0,690 мкм. Между данными полями обнаружена слабая прямая корреляционная связь с коэффициентом $R = 0,43 \div 0,57$.

Выявленные корреляционные связи и полученные уравнения регрессии могут быть полезными для оценок средневзвешенных по акватории пролива концентраций исследуемых веществ и их

временных тенденций. Подобная информация представляется существенным дополнением при визуальном анализе спутниковых снимков Керченского пролива в видимом диапазоне.

Полученный результат может быть улучшен за счет организации и проведения синхронных спутниковых и контактных наблюдений, сроки которых необходимо планировать с учетом прогноза благоприятных с позиции решаемой задачи (безоблачное небо и прозрачная атмосфера) погодных условий.

СТРУКТУРА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ И ПОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ДЕЛЬТЕ Р. ДОН В ИЮНЕ 2015 ГОДА

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

*МГИ, г. Севастополь, Россия
p_lotakin@mail.ru*

Ключевые слова: дельта р. Дон, температура, соленость, общее взвешенное вещество, растворенное органическое вещество.

На основе анализа данных экспедиции МГИ выявлены основные черты циркуляции вод, закономерности структуры термохалинного поля, полей концентрации общего взвешенного и растворенного органического веществ в дельте реки Дон. В поле растворенного органического вещества обнаружен фронтальный раздел со свойствами естественного маргинального фильтра.

По косвенным признакам определены следующие основные звенья циркуляции вод. На взморье наблюдался ориентированный соответственно преобладавшему вектору ветра вдольбереговой, направленный на север – северо-запад поток, который в северной своей части подпитывался течением из рукава Каланча. В южной области взморья обнаружено течение, проникавшее в рукав Дон.

Показано, что в речных водах отсутствовала вертикальная стратификация рассмотренных величин. На взморье она была более выраженной и двухслойной. Для участков вдольбереговой

кромки взморья типична немонотонная вертикальная структура температуры, концентрации общего взвешенного и растворенного органического веществ, имевшая признаки интрузионных образований.

Наблюдавшиеся в рукавах дельты линзы с высоким содержанием растворенного органического вещества – вероятное следствие антропогенных источников этого вещества, связанных со сточными водами населенных пунктов.

Вдоль устьевого взморья в узкой прибрежной полосе шириною около 0,5–1,0 мили в поле концентрации растворенного органического вещества выявлен меридионально ориентированный фронтальный раздел с признаками естественного маргинального фильтра. Поперек этого образования концентрация растворенной органики резко падала по направлению к открытой акватории моря. Горизонтальный градиент содержания данного вещества на фронтальном разделе достигал 20–30 мг/л на милю. На нем задерживалось до 50% растворенных органических веществ, содержащихся в речной воде в низовье Дона. Температура на границах фильтра уменьшалась в сторону моря от 26,6 до 24,2°C, соленость увеличивалась от 0,62 до 0,84 ЕПС.

Возможно, что обнаруженный в ходе экспедиции фронт в поле концентрации растворенного органического вещества, представляет собой естественный маргинальный фильтр устьевой зоны реки Дон.

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ЮЖНОМ БЕРЕГУ КРЫМА

Майборода С.А.¹, Метик-Диюнова В.В.¹, Симонова Ю.В.¹,
Казаков С.И.¹, Корсаков П.Б.²

¹ЧГП РАН, пгт. Кацивели, Россия

²ФГБУ «Крымское УГМС», пгт. Никита, Россия
sergey.mayboroda.72@mail.ru

Ключевые слова: атмосферные осадки, корреляция, тренды, североатлантическое колебание (САК).

Анализируются многолетние данные выпадения атмосферных осадков на территории Черноморского гидрофизического полигона (ЧГП РАН), Кацивели и агрометеостанции «Никитский сад», Никита. Осадки играют значительную роль в водном балансе Черного моря и являются одним из важных факторов, влияющих на гидрологическую и гидрохимическую структуру вод моря.

Регулярные измерения атмосферных осадков в Кацивели производятся с 1984 года. При измерении количества осадков применяется осадкомер Третьякова О-1 и плювиограф П-2. В работе использовались архивные данные метеорологических наблюдений ЧГП РАН и агрометеостанции «Никитский сад» с 1984 по 2016 гг.

Анализ данных показал, что в период до 1997 г., включительно, отмечается небольшой рост количества осадков, в дальнейшем изменчивость характеризуется отрицательным трендом. Суммы осадков находятся в прямой зависимости от количества дней с осадками. Среднее многолетнее количество осадков в Кацивели с 1984 по 2016 гг. составляет 516,6 мм, интенсивность осадков – 6,3 мм, минимум осадков был зарегистрирован в 1993 г. – 280,2 мм, максимум в 1997 г. – 817,6 мм. Среднее количество дней с атмосферными осадками в году – 83,6 дня. В Никите среднемноголетнее значение осадков составило 615,3 мм, среднее количество дней с осадками в году – 120,8 дня, средняя

многолетняя интенсивность составляет 5,1 мм. Минимум атмосферных осадков был зарегистрирован в 1993 г. – 311,4 мм, максимум в 1997 г. – 949,9 мм. Очевидна идентичность колебаний годовых сумм и среднемесячных климатических норм осадков в Кацивели и Никите (коэффициенты корреляции 0,89 и 0,96, соответственно). За весь период наблюдений в Кацивели было зарегистрировано 51 случай, а в Никите – 69 случаев выпадения атмосферных осадков, превышающих 30 мм.

Анализ данных ЧГП выявил отрицательную корреляцию индексов САК и осадков: январь (–0,42) и март (–0,31). Более значимая связь присутствует для осадков за холодные периоды 2003–2004 гг. (–0,96), 2004–2005 гг. (–0,53). В Никите корреляция данных за январь ниже (–0,34), холодные периоды 2003–2004 гг. и 2009–2010 гг. (–0,93) и (–0,32), соответственно.

Заметно увеличение атмосферных осадков в периоды с наименьшим значением числа Вольфа и уменьшение осадков с наибольшими значениями.

В ходе исследования в указанных регионах отмечена тенденция роста количества осадков до конца 90-х годов прошлого столетия и уменьшения их количества в последующие годы. Периодичность максимальных годовых сумм осадков составляет около 5 лет. Отличие полученных величин среднемноголетних месячных осадков с другими оценками подтверждает большую зависимость количества осадков от региональных факторов. Экстремальные осадки чаще наблюдаются летом. Отмечен рост количества экстремальных осадков в тёплый период. В отдельные месяцы холодного периода зафиксирована значимая корреляция количества осадков с индексами Североатлантического колебания (САК). Наблюдается зависимость количества атмосферных осадков от значений числа Вольфа.

Работа выполнена в рамках научной темы № 0835-2018-0001 государственного задания № 007-00111-18-00.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ И ТЕНДЕНЦИЯ ДВУХ ТИПОВ ЭЛЬ-НИНЬО – ЮЖНОЕ КОЛЕБАНИЕ ПО РАЗЛИЧНЫМ РЕКОНСТРУИРОВАННЫМ ДАННЫМ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ

Марчукова О.В.

*ИПТС, г. Севастополь, Россия
olesjath@mail.ru*

Ключевые слова: Ла-Нинья, Эль-Ниньо, Тихий океан, температура поверхности океана, реконструированные данные ТПО.

В последнее десятилетие вырос интерес к изучению разных видов Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК), при этом огромное внимание уделяется гипотезе о существовании двух типов – Восточно-Тихоокеанского (ВТ) и Центрально-Тихоокеанского (ЦТ). Хорошо известно, что виды классификаций в литературе отличаются своей методологией, иногда даже кардинально. В данной работе проверяется, в какой степени могут возникнуть различия и расхождения при классификациях событий Ла-Нинья (ЛН) и Эль-Ниньо (ЭН) из-за использования разных данных реконструированной (восстановленной) температуры поверхности океана (ТПО), фокусируясь на массивах: HadISST (Великобритания), COBE SST2 (Япония) и ERSSTv4 (США).

По данным массивов HadISST, COBE SST2 и ERSST V4 был рассчитан температурный индекс Nino3.4 то есть, среднемесячная аномалия ТПО для периода 1870–2014 гг. в районе Nino3.4, ограниченного координатами 5°с.ш. – 5°ю.ш. и 170°з.д. – 120°з.д. Длина полученного ряда составила 1740 значений, дискретность – 1 месяц, единица измерения – градусы Цельсия (°C). Критерий выделения событий ЭН и ЛН – значения Nino3.4 с порогом $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ на протяжении как минимум 5 месяцев подряд.

Чтобы классифицировать годы событий ЭН и ЛН как ВТ тип или ЦТ тип, была использована методология (Yeh et al., 2009), в которой сравниваются индексы аномалий ТПО в районах Nino3 (5°с.ш. – 5°ю.ш., 150°з.д. – 90°з.д.) и Nino4 (5°с.ш. – 5°ю.ш., 160°в.д. – 150°з.д.).

Таким образом получилось следующее: по массиву HadISST было выделено 31 событие ЭН и 27 событий ЛН, из них 21 ЭН ВТ, 10 ЭН ЦТ, 16 ЛН ВТ, 11 ЛН ЦТ; по массиву COBE SST2 – 33 события ЭН и 31 событие ЛН, из них 19 ЭН ВТ, 14 ЭН ЦТ, 16 ЛН ВТ, 15 ЛН ЦТ; по массиву ERSST V4 – 33 события ЭН и 32 события ЛН, из них 13 ЭН ВТ, 20 ЭН ЦТ, 15 ЛН ВТ, 17 ЛН ЦТ.

ERSST V4 воспроизводит больше событий ЦТ типа, по сравнению массивами HadISST и COBE SST2.

Поскольку обновления к ERSST V4 были частично мотивированы стремлением к более реалистичной реконструкции прошлых событий Эль-Ниньо Центрального типа, оценки возникновения ЭН ЦТ с использованием этого массива данных будут превышать их количество. Конечно, все реконструкции ТПО в какой-то степени должны предполагать, что предыдущее типы ЭНЮК должны быть похожи на существующие на данный момент, поэтому истинный уровень типов может быть недооценен.

Самое удивительное, что полученные в данной работе результаты показывают различия в типах ЭН и ЛН между разными массивами данных восстановленных значений ТПО не только для раннего периода, когда данные менее надежны, а наоборот разбросаны по всем периодам, в том числе включая два последних десятилетия. С 1950 г. возникновение событий ЦТ ЭН и ЦТ ЛН составляет почти половину всех событий ЭНЮК ЦТ типа, в зависимости от того, какой массив данных реконструированных значений ТПО используется. Такие результаты подчеркивают важность выбора массива данных при дальнейшей классификации событий ЭНЮК.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ СОЧЕТАНИЯ РАЗНЫХ ТИПОВ ЛА-НИНЬЯ С ФАЗАМИ ТИХООКЕАНСКОЙ ДЕКАДНОЙ ОСЦИЛЛЯЦИИ

Марчукова О.В.

*ИПТС, г. Севастополь, Россия
olesjath@mail.ru*

Ключевые слова: Ла-Нинья, Тихий океан, температура поверхности океана, Тихоокеанская декадная осцилляция, приземное давление.

Главными модами изменения глобального климата на межгодовом и десятилетнем масштабах являются Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) и Тихоокеанская декадная осцилляция (ТДО).

ЭНЮК – главный сигнал в системе взаимодействия океана и атмосферы на межгодовом масштабе, который оказывает существенное влияние на состояние климата и окружающей среды. ЭНЮК включает в себя два эпизода: теплый (события Эль-Ниньо) и холодный (события Ла-Нинья).

ТДО представляет собой устойчивую повторяющуюся модель климатической изменчивости в системе океан-атмосфера, расположенную в средних широтах северной части Тихого океана, и определяется как потепление или похолодание поверхностных вод в Тихом океане к северу от 20°с.ш. Амплитуда этого колебания изменяется на межгодовых и на междесятилетних временных масштабах. Если рассматривать ТДО как колебание между холодной и теплой фазой каждые 20–30 лет, то известны три перехода с одного на другой режимы: 1924/1925 (смена на теплую фазу), 1945/1946 (переход на холодную) и 1976/1977 (теплая фаза). В современной науке плохо изучена комбинация разных фаз ТДО в сочетании с событиями Ла-Нинья. Цель данной работы заключается в том, чтобы изучить сочетание ТДО и разных типов Ла-Нинья на межгодовом и на декадном масштабах с 1900 по 2014 гг.

На межгодовом масштабе индекс ТДО квазисинхронно моделирует пики индекса Nino3.4. На положительную фазу ТДО выпадает больше событий Эль-Ниньо (22 из 31), а на отрицательную фазу – больше событий Ла-Нинья. Если рассматривать количество событий Ла-Нинья по пространственным типам, то получается следующее: на положительную фазу ТДО приходится 4 события Восточно-Тихоокеанского (ВТ) и 3 Центрально-Тихоокеанского (ЦТ) типов Ла-Нинья; на отрицательную фазу ТДО – 7 ВТ и 7 ЦТ событий Ла-Нинья.

На низкочастотном временном масштабе изменчивости индекса ТДО количество Ла-Нинья лучше рассматривать со сдвигов режима и как результат возникновения дальнего действия. События ЦТ Ла-Нинья в положительную фазу ТДО сопровождаются отрицательной аномалией геопотенциальных высот на 500 мб уровне в южном полушарии, а в северном – положительной аномалией, которая в зимние месяцы смещается на юго-восток, усиливая Азорский антициклон. При этом аномалии ЦТ более выражены, чем при ВТ ЛН. В отрицательную фазу ТДО формируется синхронно-противоположная картина. При этом в годы ВТ ЛН более выражена положительная аномалия геопотенциала на 500 мб уровне в южном полушарии и отрицательная в северном, чем при ЛН ЦТ типа.

Работа выполнена в Федеральном государственном научном учреждении «Институт природно-технических систем» при частичной поддержке гранта РФФИ № 16-05-00231.

**МОНИТОРИНГ И ИССЛЕДОВАНИЕ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ В ЯПОНСКОМ МОРЕ
ПОСРЕДСТВОМ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОГО БУЯ-
ВОЛНОГРАФА WAVESCAN**

**Марьина Е.Н., Харламов П.О., Кустова Е.В., Лобанов В.Б.,
Сергеев А.Ф., Воронин А.А., Щербинин П.Е.,
Пономарев В.И., Лазарюк А.Ю.**

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

Ключевые слова: натурные измерения, метеорологические измерения, океанографические измерения, буй, океанографический буй, прибрежная зона, динамические процессы, верификация данных.

Тихоокеанским океанологическим институтом проводятся наблюдения за метеорологическими и океанографическими процессами, происходящими в прибрежной зоне на южной границе экономической зоны Тихоокеанского бассейна Российской Федерации в Заливе Петра Великого. Измерения выполняются с помощью автономного заякоренного буя-волнографа Wavescan Buoy, разработанного фирмой Fugro OCEANOR AS (Норвегия). Прибор является измерительным комплексом, предназначенным для проведения круглогодичных метео-океанографических наблюдений. Буй был установлен в координатах 42°25' с.ш. 130°57' в.д., в 2016 г. в период с апреля по декабрь, в 2018 г. – с апреля.

Wavescan Buoy представляет собой автоматическую измерительную систему, состоит из поверхностного буя диаметром 2,8 м с метеорологическими датчиками на мачте высотой 4 м над поверхностью моря, океанографическими приборами в нижней части буя и заякоренной линией вертикально расположенных на тресе измерительных приборов. Метеорологический комплекс датчиков включает датчики измерения скорости и направления ветра, температуры воздуха, атмосферного давления и потока солнечной радиации. Океанографический комплекс датчиков

включает датчики для измерения максимальной высоты волн, периода, направления и спектра волнения; для измерения поверхностной температуры воды, содержания растворенного кислорода в воде, концентрации хлорофилла-а, мутности и параметров качества морской воды, комплекс так же оснащен доплеровским измерителем течений для регистрации вертикального профиля течений. Автономность работы океанографического буя обеспечивается за счет наличия солнечных батарей, аккумулятора и системы управления питанием. Полученные данные измерений записываются в память приборов и оперативно передаются на сервер, находящийся в Тихоокеанском океанологическом институте.

Заякоренные буи являются надежным источником получения натуральных данных, позволяют проводить измерения в сложных условиях, когда эксплуатация других приборов затруднительна или невозможна. Данные, полученные при использовании комплекса Wavescan Buoy, обладают уникальностью ввиду разреженности натуральных наблюдений за метеорологическими и гидрологическими процессами непосредственно в морской акватории, а также широкого набора измеряемых параметров одновременно в течении длительного периода времени.

Полученные данные подходят для проведения анализа метеорокеанографических параметров; изучения динамических морских и атмосферных процессов, происходящих в прибрежной зоне; для изучения состояния экосистемы; для верификации спутниковых и модельных данных.

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АКВАЛЬНЫХ СИСТЕМ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ ДОНА

Матишов Г.Г.¹, Матишов Д.Г.¹, Лычагин М.Ю.²,
Сорокина В.В.¹, Клещенков А.В.¹, Поважный В.В.¹,
Цыганкова А.Е.¹, Ткаченко А.Н.², Ткаченко О.В.²,
Бердников С.В.¹

¹ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия

²МГУ, г. Москва, Россия

geo@ssc-ras.ru

Ключевые слова: дельта Дона, Азовское море, гидрологический режим, биогенные элементы.

Дельта Дона – уникальный природный объект с разнообразными ландшафтами и богатой флорой и фауной. Это сложная и своеобразная природная система, где происходит взаимодействие различных по химическому составу речных и морских вод, сложнейшие биогеохимические процессы. Дельтовые ландшафты служат биогеохимическим фильтром, где осаждается значительная часть взвешенных и растворенных веществ.

Донская дельта густо заселена. Благодаря водным ресурсам и плодородным землям, этот район играет важную роль в народном хозяйстве Приазовья (орошаемое земледелие, рыбное хозяйство). Через устье Дона проходит речной путь из Каспийского моря в Азовское и Чёрное. В 1953 г. построено Цимлянское водохранилище и позже гидроузлы ниже по течению. В комплексе, все это и составляет тот самый «антропогенный фактор», который влияет на устойчивость экосистем устьевой области Дона и в целом Азовского моря. Любые нарушения экологического равновесия негативно сказываются на социальной и экономической сферах региона.

В рамках проекта «Интегральная оценка эколого-геохимического состояния аквальных систем устьевой области Дона» в

2013–2015 гг. проведены исследования современного геохимического состояния аквальных ландшафтов устьевой области Дона. Работы включали полевые исследования, лабораторные эксперименты, аналитическую обработку полученных данных и математическое моделирование. Основное внимание уделено изучению ключевых компонентов аквальных систем устья Дона (воде, взвешенному веществу, донным отложениям) и их изменчивости в результате действия естественных и антропогенных факторов.

В результате выполненных работ получены следующие результаты.

1. Описаны особенности гидрологического режима Нижнего Дона в 2013–2015 гг. и распределение стока по рукавам дельты реки. В условиях продолжительного маловодья в дельте Дона происходит перераспределение основного стока между двумя главными рукавами. Современное состояние дельты характеризуется отмиранием мелких рукавов, промывной режим которых обеспечивается в основном сгонно-нагонными явлениями, в результате чего происходит кратковременное замещение речных вод морскими во время сильных нагонов. Данное явление требует дальнейшего изучения, так как, по всей видимости, оно играет значительную роль в перераспределении вещества в системе дельта-устьевое взморье.

2. Описаны особенности режима биогенных элементов на устьевом участке Дона в маловодный период 2006–2015 гг. Впервые представлены данные по содержанию органических форм углерода в р. Дон для рассматриваемого периода. Значительная часть азота и фосфора переносится водами Дона в растворенной форме. Отмечено увеличение содержания азота и фосфора во взвесах Дона на фоне относительно низкой мутности (в среднем 20–30 мг/л) по сравнению с данными предшествующих работ. В многолетнем плане сток валового фосфора (TP) относительно стабилен, а сток валового азота (TN) сокращается. Уменьшение величины TN/TP до 7,0 в современный период обусловлено некоторым снижением стока минеральных форм азота и увеличением стока растворенных форм фосфора (большой частью минеральных).

3. Изучена сезонная и пространственная изменчивость содержания тяжелых металлов (ТМ), полициклических ароматических

углеводородов (ПАУ) и нефтепродуктов в разных компонентах ландшафта в дельте Дона. На пространственное распределение ТМ и ПАУ оказывают влияние как природные, связанные с изменением скорости течения и интенсивностью промерзания водотоков, так и антропогенные факторы, главным из которых является воздействие населенных пунктов (особенно г. Ростов-на-Дону). Концентрации растворенных форм меди во всех точках превышают ПДК для рыбохозяйственных водоемов, в весенний период отмечается единичные превышения ПДК для цинка и марганца. Взвешенное вещество дельты содержит резко повышенные концентрации ПАУ. В донных отложениях эта концентрация снижается в результате процессов биodeградации.

4. Проведены лабораторные эксперименты для оценки влияния взмучивания донных отложений на загрязнение водной среды соединениями тяжелых металлов дельты Дона, роли фитопланктона в трансформации форм миграции биогенных элементов.

Помимо фундаментального научного значения, это исследование имеет социальную значимость. Качественная интерпретация данных экспедиционных и лабораторных исследований посредством научных публикаций, а также в средствах массовой информации является значимым элементом обеспечения рационального природопользования и оценки допустимых воздействий на окружающую среду в южном регионе России (Приазовье).

В проекте участвуют Южный научный центр РАН, Институт аридных зон ЮНЦ РАН, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова и Южный федеральный университет. Это действительно междисциплинарное исследование, пример интегративных процессов науки и образования.

Работа выполнена в рамках проекта 13-05-41528 РГО_а, по совместной программе Российского фонда фундаментальных исследований и Русского географического общества.

ОЦЕНКА СВЯЗИ ВНУТРИГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК АПВЕЛЛИНГОВ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ В РАЙОНЕ ЮБК

Метик-Дионова В.В., Симонова Ю.В., Майборода С.А.

*ЧГП РАН, пгт. Кацивели, Россия
margodiul@rambler.ru.*

Ключевые слова: апвеллинг, температура поверхности моря, направление и скорость ветра, атмосферное давление, упругость водяного пара, уровень моря.

На основании анализа архивных данных, полученных в Черноморском гидрофизическом полигоне, расположенном на южном берегу Крыма, п. Кацивели, проведена оценка связи внутригодовой изменчивости характеристик апвеллингов и гидрометеорологических параметров, дана общая характеристика временной изменчивости сгонных явлений в прибрежном районе для периода с мая по октябрь 2013–2017 гг.

Для каждого явления апвеллинга рассматривалась его продолжительность, интенсивность (величина падения температуры моря), а также временная изменчивость скорости и направления ветра, уровня моря, упругости водяного пара, атмосферного давления.

За исследуемый теплый период выявлено 11 случаев развития апвеллинга. В 2013 г. наблюдалось 6 случаев (3 в мае, 3 в сентябре), в 2014 г. – 2 случая (1 в июне, 1 в сентябре), в 2015 г. – 2 случая (1 в мае, 1 в июне), в 2016 г. – 4 случая (2 в мае, 1 в сентябре, 1 в октябре). Наибольшее количество сгонов за указанный период наблюдается в мае-июне и сентябре. Время существования апвеллингов варьировало от 1 до 8 суток. Наиболее продолжительные апвеллинги зафиксированы в сентябре 2013 г. (8 суток) и в октябре 2017 г. (7 суток). Интенсивность апвеллингов составила от 5°C до 16,3°C (в июле 2017 г.).

Развитие апвеллинга стимулируется устойчивым ветром юго-западных, западных, северо-западных румбов со скоростью 4–

8 м/с. Время существования исследуемых явлений также определяется ветровыми характеристиками: при ветре благоприятного направления умеренной или высокой скорости развитие апвеллинга продлевается, в противном случае происходит его угасание.

В процессе апвеллинга наблюдается понижение уровня моря на 5–15 см в зависимости от интенсивности и продолжительности явления. Лишь в одном случае из 21 при апвеллинге продолжительностью 1 сутки уровень моря не изменился. Максимальное падение уровня моря зафиксировано 3 ноября 2017 года, когда при устойчивом продолжительном ветре западного направления со скоростью 4–6 м/с и интенсивности апвеллинга 8,7°C, уровень моря понизился в течение 4 суток на 44 см.

При анализе изменчивости упругости водяного пара выявлена связь между возникновением апвеллингов и некоторым усилением засушливости климата прибрежной территории за счет подавления атмосферной конвекции. В большинстве случаев отмечено понижение упругости водяного пара на 5–12 гПа к моменту наибольшей интенсивности апвеллинга.

Изменение атмосферного давления в 14 из 21 случаев до начала развития апвеллинга, в момент наибольшей интенсивности и дальнейшего угасания имеет схожий характер. В начале развития явления наблюдается постепенное понижение давления на 4–10 гПа в течение 1–2 суток. В момент наибольшей интенсивности атмосферное давление достигает минимума, а после начала обратного явления даунвеллинга, давление повышается на 7–12 гПа. При апвеллинге в октябре 2017 года в течение 4 суток атмосферное давление сначала понизилось на 26 гПа, затем при обратном явлении повысилось на 23 гПа. Такие колебания атмосферного давления можно объяснить прохождением циклонов с запада, северо-запада Европы, в результате которого ослабляется влияние Азорского антициклона и над Черным морем господствуют южные, юго-западные, западные ветра.

Работа выполнена в рамках научной темы № 0835-2018-0001 государственного задания № 007-00111-18-00.

СТАТИСТИКА ЧИСЕЛ РИЧАРДСОНА, НАБЛЮДЕНИЯ С ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Морозов А.Н.

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

Ключевые слова: вертикальный сдвиг скорости течения, частота плавучести, термопрофилемер, ADCP, STD-зонд, Черное море.

В докладе обсуждаются результаты измерений, выполненных 17–21 мая 2013 г. с океанографической платформы, расположенной в прибрежных водах вблизи пгт. Кацевели. Измерения выполнялись с помощью распределенного термопрофилемера, акустического доплеровского профилометра течений и STD-зонда. Рассматриваются методические вопросы совместной обработки данных. Приводится зависимость чисел Ричардсона (Ri) от разрешающей способности приборов. Показано, что вероятность выполнения необходимого условия линейной неустойчивости ($P_{Ri < 0,25}$) спадает по экспоненте с ростом приращения глубины, на котором рассчитываются соответствующие производные. $P_{Ri < 0,25}$ линейно уменьшается с глубиной и проявляет логарифмическую зависимость от частоты плавучести. В качестве альтернативы числам Ричардсона рассматриваются соотношения измеренных значений средних сдвигов скорости течения с их значениями, оцененными по спектру Гаррета и Манка (GM76).

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0002.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СИНОПТИЧЕСКОЙ И СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА NOAA OI SST

Никольский Н.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
nikolsky.geo@gmail.com*

Ключевые слова: Арктический бассейн, температура поверхности океана, среднеквадратическое отклонение, сезонная и синоптическая изменчивость, фронтальные зоны, рельеф дна, граница льдов.

В работе рассматриваются особенности синоптической и сезонной изменчивости поля температуры в различных морях арктического бассейна. При исследовании использовался массив данных реанализа NOAA OI SST (<ftp://eclipse.ncdc.noaa.gov/pub/OI-daily-v2/>), содержащего среднесуточные значения температуры поверхности океана (ТПО) и концентрации льдов различной балльности в узлах сетки $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ за период с 1982 по 2016 гг. В работе анализировались области, где сплоченность льда не превышала 90% балльности.

Для анализа изменчивости ТПО в каждом узле сетки рассчитывались ее синоптические и сезонные среднеквадратические отклонения (СКО). Синоптические СКО ТПО вычислялись по среднесуточным рядам для каждого месяца каждого года и далее осреднялись за 35 лет для января, февраля и т.д. (среднемесячные СКО_{син}) и за все 420 месяцев (среднеголетнее СКО_{син}). Далее по среднесуточным значениям ТПО были получены временные ряды ее среднемесячных значений. Для оценки уровня сезонной изменчивости по этим рядам рассчитывались среднеквадратические отклонения СКО ТПО для каждого года, которые затем осреднялись за 35 лет (СКО_{сез}).

Для определения положения фронтальных зон по среднесуточным значениям ТПО рассчитывался суммарный градиент ТПО и осреднялся по всему временному ряду.

Установлено, что уровень сезонной изменчивости в несколько раз превышает синоптическую изменчивость. Наибольшие значения отношения $СКО_{сез} / СКО_{син}$ (~ 4–5) наблюдаются преимущественно на шельфовых участках арктических морей. В открытых районах морей и во фронтальных зонах это отношение уменьшается до ~ 1–2.

Пространственные распределения синоптической и сезонной изменчивости ТПО в арктическом бассейне заметно отличаются. Максимальные значения $СКО_{сез}$ (2–4°C) наблюдаются в шельфовых морях российской и канадской Арктики, вдоль юго-восточного и западного побережий Гренландии, у отмелей берегов моря Баффина. В открытых районах океана повышение величины $СКО_{сез}$ (до 2,5°C) отмечается над подводными поднятиями срединно-океанического хребта в Гренландском море и несколько севернее Фареро-Исландского порога. Характерно, что зоны максимальных значений $СКО_{сез}$, как правило, располагаются в межфронтальных пространствах, что может свидетельствовать об относительной устойчивости положения фронтальных разделов в районах с резко выраженными особенностями рельефа дна.

Интенсивная синоптическая изменчивость, наоборот, приурочена к областям максимальных горизонтальных градиентов температуры, т.е. к фронтальным зонам, которые, в свою очередь, косвенно отражают присутствие в этих районах крупномасштабных струй течений. Наибольшие значения $СКО_{син}$ (0,7–0,9°C) наблюдаются в области Шпицбергенской ветви Арктического фронта и во фронтальной зоне между Гренландией и Исландией. Минимум синоптической изменчивости (не выше 0,5°C), как правило, наблюдается в открытых районах Арктических морей и приарктической Атлантики, где рельеф дна относительно ровный, крупномасштабные течения относительно слабые, а климатические температурные градиенты на поверхности менее выражены.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ПОЧВЫ МЕТОДАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Новицкий А.В., Марюшкин Ю.А.

*ЧГП РАН, пгт. Кацивели, Россия
unzalex@gmail.com*

Ключевые слова: ГИС, ДЗЗ, вегетационный индекс ВИ, NDVI, осадки, испарения.

Крымский полуостров является сельскохозяйственным регионом, особенно развито земледелие в степной части Крыма. После сокращения уровня воды в Северо-Крымском канале, перед сельским хозяйством Крыма встала задача самообеспечения водой для полива культур и для содержания скота.

Всхожесть культур напрямую зависит от уровня осадков в регионе, потому важной частью продуктивного земледелия может стать грамотное проектирование посевов сельскохозяйственных культур.

Целью работы является адаптирование методики расчета ВИ для условий Крыма и анализ многолетней изменчивости вегетационного индекса для оценивания влагосодержания почвы и прогнозирования дефицита влаги для различных сельскохозяйственных регионов Крыма.

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК КАРБОНАТНОЙ СИСТЕМЫ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ

Орехова Н.А.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
natalia.orekhova@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: карбонатная система, Севастопольская бухта.

В современных условиях роста атмосферного CO_2 , изменения климата и увеличения антропогенной нагрузки большое внимание уделяется Мировому океану, как самому большому резервуару и стоку углекислого газа. Около 30% углекислого газа поглощается океаном, растворяясь в верхнем слое вод. Значительное увеличение его концентрации в морских экосистемах приводит к смещению равновесий карбонатной системы, снижению буферной емкости и способности поглощать атмосферный углекислый газ водами океана, что негативно сказывается на состоянии экосистемы. При этом, в прибрежных морских экосистемах эти изменения проявляются наиболее быстро.

Целью данной работы было исследование изменчивости компонентов карбонатной системы Севастопольской бухты в условиях антропогенной нагрузки и изменения климата на основе данных многолетних исследований (1998–2017 гг.).

За последние 20 лет в экосистеме бухты отмечены значительные изменения физико-химических характеристик, приведшие к развитию зон дефицита кислорода и анаэробных условий в донных отложениях.

Наиболее интересным результатом за анализируемый период представляется изменение величины TCO_2 в поверхностном слое вод: в течение 1998–2006 гг. величина TCO_2 практически не изменялась, однако с 2007–2008 гг. наблюдается выраженная тенденция к его росту. С 2008 по 2017 гг. концентрация TCO_2 увеличилась на ~6%. Это уже достаточно значимая величина, свидетельствующая о смещении равновесия продукционно-деструкционных процессов в сторону продукции углекислого газа

и снижении способности экосистемы бухты поглощать углекислый газ из атмосферы. Подобный рост TCO_2 обусловлен как увеличением атмосферного углекислого газа, так и ростом концентрации растворенного углекислого газа, поступающего/образуемого за счет антропогенного вклада.

Величина щелочности за исследуемый период практически не изменилась ($\sim 1\%$). Так как эта величина не зависит от концентрации CO_2 , а определяется вкладом CO_3^{2-} и HCO_3^- , это подтверждает предположение, что в настоящее время состояние карбонатной системы бухты определяется вкладом углекислого газа преимущественно антропогенного происхождения, т.к. среднегодовой вклад естественных источников в целом постоянен.

О смещении равновесных процессов в сторону продуцирования CO_2 также свидетельствует снижающаяся величина отношения Alk к TCO_2 . При равновесном состоянии продукционно-деструкционных процессов эта величина $\text{Alk}/\text{TCO}_2 = 1,13$. В водах Севастопольской бухты это отношение, преимущественно, было меньше 1,13 за весь наблюдаемый период, что уже указывает на смещение равновесий в сторону продукции CO_2 . Однако для поверхностного слоя вод выделяется тренд к устойчивому снижению этой величины с 1998–2017 гг.: так, в 1998 г. эта величина составляла 1,13, в 2016 – 1,10, в 2017 г. – 1,09, что также указывает на дополнительные источники CO_2 и/или усиление вклада процессов продукции углекислого газа за последние десятилетия.

Пространственное распределение компонентов карбонатной системы Севастопольской бухты является неоднородным, и определяется влиянием вод р. Черной в кутовой части бухты (зона смешения речных и морских вод), гидродинамическим воздействием (водообменном с открытой частью моря) и антропогенным влиянием.

Работа выполнена в рамках гос. задания ФГБУН МГИ № 0827-2018-0003 «Океанологические процессы» и проекта РФФИ № 16-35-60006 мол_а_дк «Многолетние изменения характеристик цикла углерода Севастопольской бухты».

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ НАКОПЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЫ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАБЛЮДЕНИЙ 2005–2010 ГГ.)

Орехова Н.А., Овсяный Е.И., Гуров К.И.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
natalia.orekhova@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: донные отложения, органический углерод, Балаклавская бухта.

Накопление органического вещества (ОВ) в морских донных отложениях характерно для шельфовых зон, особенно для устьевых районов и полузамкнутых прибрежных акваторий с затрудненным водообменом, подверженных постоянной антропогенной нагрузке. Избыточное накопление ОВ негативно отражается на экологическом состоянии прибрежных акваторий: возникновение придонной гипоксии/аноксии, заморных явлений, влияние на макробентос, увеличение подвижности ряда металлов при возникновении восстановительных условий и их переход в придонные слои вод, вынос биогенных элементов, что способствует эвтрофикации вод.

По результатам сравнительного анализа данных о содержании органического углерода ($C_{орг}$) в современных донных отложениях Балаклавской бухты установлена тенденция к снижению его накопления за последнее десятилетие. Однако, как показали исследования, выполненные в Балаклавской бухте в 2015 г., накопление $C_{орг}$ в поверхностном слое донных отложений значительно выше, чем в открытых акваториях на шельфе Южного берега Крыма, что обусловлено морфометрией акватории, особенностями гидродинамики вод и гидролого-гидрохимического режима, гранулометрическими характеристиками донных отложений, антропогенным влиянием и др.

В отличие от Севастопольской бухты, где явления гипоксии и аноксии проявляются регулярно, случаев обнаружения низких концентраций кислорода ($< 2 \text{ мл} \cdot \text{дм}^{-3}$) в Балаклавской бухте не

отмечалось, что является одной из основных причин отсутствия значительного накопления и захоронения органического вещества в современных донных отложениях. Не исключается влияние гидродинамического режима и апвеллинга, способствующих вентиляции придонных вод и поддержанию уровня концентраций кислорода в придонной зоне выше критической и, таким образом, обеспечения окислительной деструкции вновь образованного ОВ. Таким образом, в настоящее время органическая нагрузка не столь велика, чтобы вызывать гипоксию или аноксию в придонных водах.

В то же время сброс неочищенных коммунальных стоков в сопредельную акваторию и их перенос в бухту оказывает существенное влияние на накопление и перераспределение ОВ в южном бассейне бухты. Несмотря на снижение за последнее 10-летие общего уровня обогащения $C_{\text{орг}}$ донных отложений бухты, локальные накопления ОВ оказывают существенное влияние на донные биологические сообщества. Наблюдаемый уровень накопления ОВ ($C_{\text{орг}} > 2,5\% \text{ мас}$) приводит к перестройке в сообществе бентоса (снижение видового разнообразия, численности и др.). Это подтверждается результатами, полученными в ходе натуральных наблюдений за изменением структуры бентосного сообщества в бухте. Доминирующими видами макрозообентоса являются устойчивые к воздействию загрязняющих веществ. При этом низкая численность и биомасса отмечается в наиболее загрязненных участках бухты – в устьевом (южный бассейн) и среднем (северный бассейн).

Работа выполнена в рамках темы гос. задания 0827-2018-0004 (шифр «Прибрежные исследования»), проекта РФФИ № 18-45-920008 «Оценка влияния накопления органического вещества в донных отложениях на изменение окислительно-восстановительных условий бухт Севастопольского региона».

ВЛИЯНИЕ СТОКА Р. ВОЛГИ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОД СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

Островская Е.В., Петреченкова В.Г., Радованова И.Г.

*КаспМНИЦ, г. Астрахань, Россия
kaspnmiz@mail.ru*

Ключевые слова: Каспийское море, р. Волга, речной сток, загрязняющие вещества.

Загрязнение морской среды представляет угрозу сохранению биологического разнообразия и разрушает среду обитания водных биоресурсов Каспийского моря. Основными источниками антропогенного загрязнения Каспийского бассейна считаются воды впадающих в него рек и, в первую очередь, – воды р. Волги.

Целью данного исследования является оценка влияния стока р. Волги на загрязнение вод мелководной зоны Северного Каспия. Материалами для исследования послужили наблюдения за загрязнением вод Нижней Волги, проводимые в вершине ее (с. Верхнее Лебяжье) Росгидрометом, а также данные о содержании загрязняющих веществ в воде Северного Каспия в 2015 и 2016 гг.

Годовой сток отдельного загрязняющего вещества в море оценивался как произведение среднегодовой концентрации этого вещества в вершине дельты Волги на величину объема годового стока воды. Для расчета последнего использовались данные наблюдений за расходами воды в вершине дельты (потери воды в дельте не учитывались).

По имеющимся данным в 2015 и 2016 гг. были рассчитаны величины годового стока загрязняющих веществ, концентрации которых в волжской воде превышали ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения. Здесь необходимо отметить, что 2015 г. был маловодным, а 2016 г. – многоводным (годовой объем стока составил в 2015 г. 182 км³, в 2016 г. – 261 км³). В этот период превышали ПДК концентрации железа (годовой сток – 29,6 и 50,9 тыс. т соответственно для 2015 и 2016 гг.), меди (годовой сток – 763 и 671 т), цинка (годовой сток – 3,7 и 4,9 тыс. т),

никеля (годовой сток – 2,2 и 1,9 тыс. т), ртути (годовой сток – 3,3 и 3,2 т), фенолов (годовой сток – 296 и 464 т) и нефтепродуктов (годовой сток – 29,8 и 58,3 тыс. т).

Анализ уровня загрязнённости вод западной части Северного Каспия, куда поступает основная часть водного стока реки, в 2015 г. выявил превышение ПДК по нефтепродуктам (в среднем 2,1 ПДК), фенолам (около 2 ПДК), железу (2,9 ПДК), меди (3,3 ПДК), цинку (2,3 ПДК), никелю (5 ПДК), свинцу (2,2 ПДК), а в 2016 г. – по нефтепродуктам (в среднем 3,3 ПДК), фенолам (1,6 ПДК), железу (3,5 ПДК), меди (1,6 ПДК), никелю (1,3 ПДК), кобальту (2,8 ПДК).

Таким образом, можно сделать вывод, что сток р. Волги оказывает существенное влияние на уровень загрязненности Северного Каспия нефтепродуктами и некоторыми металлами, в частности, железом и никелем, причем это влияние меняется от года к году в зависимости от объема водного стока.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОТЕРЬ ВОДЫ НА ИСПАРЕНИЕ С ПОВЕРХНОСТИ АЗОВСКОГО МОРЯ: НОВАЯ МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА

**Остроумова Л.П.¹, Мишин Д.В.¹, Евстигнеев В.П.²,
Вишневская И.А.¹**

¹*ГОИИ, г. Москва, Россия*

²*СевГУ, г. Севастополь, Россия*

Lostroumova@mail.ru

Ключевые слова: испарение, Азовское море, трансформация воздушных масс, тепловой баланс.

Испарение с поверхности является одной из основных расходных составляющих баланса вод Азовского моря. Поскольку измерения этой величины непосредственно с поверхности моря не производятся, расчет потерь воды осуществляется по данным наблюдений за температурой и влажностью воздуха, скоростью ветра с использованием разных полуэмпирических соотношений.

Многие из них некорректно или не полностью отражают многообразие физических процессов, протекающих в приводном слое атмосферы.

Наиболее точным из указанных способов расчета слоя испарения считается метод А.П. Браславского, основанный на ряде эмпирических формул, моделирующих процесс испарения, как взаимодействие двух явлений – массообмена в пограничном слое водоема и атмосферы и переноса водяных паров в приводном слое атмосферы. Структура формулы позволяет правильно отобразить проникновение молекул водяного пара через надводный вязко-буферный слой, относ этих молекул от водной поверхности в слое путем свободной и вынужденной конвекции, изменение кинематической вязкости воздуха при колебаниях его температуры.

Необходимая для расчетов температура поверхностного слоя моря ищется из уравнения его теплового баланса. Составляющие теплового баланса – поглощенная водой суммарная солнечная радиация и встречное излучение атмосферы, теплообмен водной массы с грунтом дна, теплоотдача путем испарения и турбулентной конвекции, тепловое излучение поверхности воды. Тепловой баланс рассчитывается за безледоставный период, период ледостава и периода стаивания снего-ледяного покрова.

Указанная методика также учитывает трансформацию воздушных масс, проходящих над водной поверхностью, что требует морфометрических характеристик и задания точной конфигурации Азовского моря, разделения моря на отдельные однородные с точки зрения динамики массообмена в слое море-атмосфера районы.

В настоящей работе был реализован усовершенствованный алгоритм расчета месячных потерь воды на испарение на основе методики А.П. Браславского и отдельных алгоритмов разработанной ранее компьютерной программы «ISPAR». Ранее по программе «ISPAR» был апробирован расчет месячных слоев испарения с поверхности водоемов суши: озер Ладожского и Балхаша, Краснодарского и Цимлянского водохранилищ и устьевого взморья Северного Каспия, Таганрогского залива, устьевой области Дона и лиманов в устьевой области Кубани.

В обоих алгоритмах в качестве входных параметров используются данные наблюдений расположенных в различных климатических условиях на побережье Азовского моря метеорологических станций, из которых пересчитываются температура и влажность воздуха, скорость ветра над водной поверхностью. Использование сравнительно небольшого набора данных, позволяет проводить расчет за достаточно длительный период лет. В работе выполнен анализ пространственно-временной изменчивости потерь воды на испарение с поверхности Азовского моря по совокупности отдельных его районов за период 1976–2010 гг.

ВЛИЯНИЕ ВОДООБМЕНА ЧЕРЕЗ КЕРЧЕНСКИЙ ПРОЛИВ НА ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ АЗОВСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Петренко Л.А.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
larcpetr@gmail.com*

Ключевые слова: Керченский пролив, водообмен, ледовые условия, Азовское море.

Рассматривается влияние водообмена через Керченский пролив на ледовые условия Азовского моря. На основе анализа спутниковых снимков показано, что в зимний период поступающие из Черного моря теплые и более соленые воды препятствуют распространению льдов в Азовском море к югу и могут привести к значительному уменьшению площади ледового покрова даже при отрицательных значениях температуры воздуха.

На примере зимы 2016–2017 гг. продемонстрировано влияние опор Крымского моста на распределение скоростей течения и на вынос льда через Павловскую узость в южную часть пролива.

Работа выполнена по теме государственного задания №0827-2018-0002.

ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ ОБРАТНОГО АКУСТИЧЕСКОГО РАССЕЯНИЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ И ЕЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИЧИНЫ

**Пиотух В.Б.¹, Мысленков С.А.^{1,2,3}, Зацепин А.Г.¹,
Александрова А.Г.¹, Соловьев Д.М.^{1,4}**

¹*ИО РАН, г. Москва, Россия*

²*МГУ, г. Москва, Россия*

³*Гидрометцентр России, г. Москва, Россия*

⁴*МГИ, г. Севастополь, Россия*

zatsepin@ocean.ru

Ключевые слова: Черное море, прибрежная зона, донная станция ADCP, обратное акустическое рассеяние, временная изменчивость, спутниковая информация.

В статье приводится анализ изменчивости интенсивности обратного акустического рассеяния (эхо-сигнала) измеренного в 2011–2012 гг. донной станцией ADCP (AWAC 1000 кГц), установленной на гидрофизическом полигоне ИО РАН в прибрежной зоне Черного моря в районе г. Геленджик. Прибор находился на глубине 25 м и на расстоянии 1,1 км от берега. Согласно методике, изложенной в работе [1], была проведена амплитудная калибровка аппаратной передаточной функции приемного тракта ADCP. После этого интенсивность эхо-сигнала не зависела от расстояния между горизонтом рассеяния и прибором, а определялась присутствием в воде планктона, минерального взвешенного вещества, пузырьков воздуха и плотностных неоднородностей. Из-за одновременного влияния на эхо-сигнал различных факторов, возникают сложности в интерпретации получаемых результатов. При этом полезно использовать данные спутниковых измерений концентрации взвеси и хлорофилла «а» в приповерхностном слое моря. Анализ этих данных позволяет выделять районы с повышенной концентрацией взвеси, области цветения фитопланктона, а также вихревые структуры в поле течения.

За исследуемый период было выделено 30 событий резкого увеличения интенсивности эхо-сигнала. Проведен сравнительный анализ интенсивности эхо-сигнала с параметрами ветровых волн, рассчитанных при помощи волновой модели SWAN. Особенности моделирования волнения для данной акватории описаны в работе [2]. Выявлено, что при высоте значительных волн более 1 м наблюдается увеличение интенсивности эхо-сигнала, что связано с взмучиванием донных отложений при обрушении волн на мелководье. Обнаружено, что в районе исследований 60 процентов наблюдаемых событий увеличения интенсивности эхо-сигнала связано с ветровым волнением. Большинство остальных случаев связаны с влиянием стока рек после выпадения обильных атмосферных осадков, с воздействием сильного ветра (образование пузырьков воздуха) и цветением кокколитофорид.

Работа выполнена за счет гранта РНФ (проект № 14-05-0095).

Литература

1. Пиотух В.Б., Зацепин А.Г., Куклев С.Б. Амплитудная калибровка сигнала обратного акустического рассеяния донного ADCP по длинным рядам измерений // *Океанология*. – 2017. – Т. 57, № 3. – С. 503–513.
2. Myslenkov S., Chernyshova A. Comparing wave heights simulated in the Black Sea by the SWAN model with satellite data and direct wave measurements // *Russian Journal of Earth Sciences*. – 2016. – Т. 12, № 6. – С. 1–7.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ В РАЙОНАХ РАЗМЕЩЕНИЯ МАРИХОЗЯЙСТВ (ЧЕРНОЕ МОРЕ, СЕВАСТОПОЛЬ)

Попов М.А.

ИМБИ, г. Севастополь, Россия
mark.a.popov@mail.ru

Ключевые слова: Конхиокультура, течения, дискретные трассеры, скорость ветра.

Исследование течений в районах размещения марихозяйств занимающихся подвесной конхиокультурой – одна из первостепенных задач при организации и функционировании морской фермы. От направления и скорости течений в акватории фермы и в прилегающих районах зависит поступление на ферму кормового фитопланктона, личинок спата, концентрация в водной среде кислорода и биогенных веществ, вынос за пределы фермы продуктов жизнедеятельности культивируемых организмов.

Работы проводились в районе двух марихозяйств, расположенных на внутреннем (44°37'6,61" с.ш.; 33°30'26,94" в.д.) и внешнем (44°37'8.49" с.ш.; 33°29'59.44" в.д.) рейде Севастопольской бухты, разделенных Южным молотом. Для исследования течений применялся метод Лагранжа, основанный на предположении, что движение жидкости можно рассматривать как сумму движения отдельных частиц (трассеров). В качестве дискретных трассеров применялись поверхностные (6 шт.) и подповерхностные (2 шт., глубина погружения демпфера 10 м) вехи. Трассеры выпускали одновременно в акватории двух ферм на расстоянии от 30 до 50 метров друг от друга. Фиксация положения вех производилась с борта маломерного судна GPS-приемником «Garmin GPSMAP 78S» с дискретностью по времени 10–20 минут (в зависимости от скорости дрейфа). Скорость ветра определялась с помощью чашечного анемометра «МС-13», направление – GPS-приемником.

Средняя скорость ветра в экспериментах составляла $3 \pm 0,4$ м/с. Предполагалось, что скорости течений в акватории

марихозияства расположенного внутри Севастопольской бухты будут ниже, чем на внешнем рейде. Однако скорости течения на поверхности внутри бухты превосходили скорости течения в открытой части моря. Так средняя скорость внутри бухты составляла 8 ± 1 см/с, а на внешнем рейде – $6 \pm 0,5$ см/с. Вехи в большинстве случаев двигались по ветру. Время перестройки поверхностных течений при изменении направления ветра было минимально. При смене ветра поверхностные течения меняли направление по ветру. В одном эксперименте на внешнем рейде был зафиксирован циклонический круговорот. При устойчивом западном ветре, дующем со скоростью 3 м/с, скорость поверхностного течения составляла 6 см/с, диаметр круговорота – примерно 100 м.

На горизонте 10 м средняя скорость течения в бухте составляла $2 \pm 0,4$ см/с, на внешнем рейде – $3 \pm 0,9$ см/с. Направления течения либо совпадали с поверхностными, либо отклонялись вправо или влево от поверхностного потока. Какой-либо закономерной связи направления поверхностных и подповерхностных течений выявлено не было. На внешнем рейде в одном эксперименте было зафиксировано противотечение. При слабом северном ветре, дующем со скоростью 2 м/с вехи в поверхностном слое на внешнем рейде перемещались по ветру со скоростью 4 см/с. На глубине 10 метров вехи перемещались против ветра со скоростью 1 см/с. Внутри бухты на обоих исследуемых горизонтах направление течений совпадало с ветровым переносом.

МОРСКОЙ БРИЗ. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПРЕСНОЙ ВОДЫ ДЛЯ НУЖД СЕВАСТОПОЛЯ И КРЫМА

Савоськин В.М.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
sv78@mail.ru*

Ключевые слова: морской бриз, пресная вода, альтернативный способ, Севастополь, Крым, мыс Айя, точка росы, насыщенный пар, потоки воздуха, скалы.

Еще в древности люди на побережье и на островах знали секреты сбора пресной воды, благодаря ее конденсации из воздуха, и передавали эти секреты из поколения в поколение.

После того, как Украина перекрыла канал, по которому в Крым подавалась днепровская вода, в Севастополе и в Крыму обострилась ситуация с пресной водой, необходимой для полива и для нужд сельского хозяйства.

Многолетние наблюдения за процессами, происходящими на побережье в районе ландшафтного заказника «Мыс Айя», и за растениями, произрастающими на этой территории, а также анализ этих наблюдений подсказали автору идею возможности получения пресной воды из влажного морского воздуха.

Летом каждый вечер после захода солнца температура воздуха начинает понижаться и все становится влажным: одежда, камни, песок, а также лодки на пляже.

В интернете можно найти несколько способов получения воды из воздуха. Все они основаны на конденсации водяного пара при насыщении им воздуха.

Для понимания того, как из воздуха получается вода, вспомним известное нам из курса физики понятие точки росы.

Фактическое значение точки росы зависит от относительной влажности воздуха и чем выше эта величина, тем выше и точка росы, то есть ближе к фактической температуре воздуха, а чем ниже относительная влажность, тем точка росы ниже его температуры. Если относительная влажность составляет 100%, то

точка росы совпадает с температурой окружающего воздуха. Зависимость температуры точки росы от относительной влажности воздуха можно найти в учебниках и справочниках по физике.

Для сбора воды с древних времен отбирались специальные камни и укладывались в кучи. Вода, конденсирующаяся на этих камнях, стекала на парусину или черепицу с желобками и собиралась в резервуары. Аналогично этому, собиралась вода, конденсирующаяся в холодных пещерах при прохождении через их коридоры влажного воздуха (морского бриза).

Это прямой способ получения воды из воздуха.

Можно также использовать морской бриз, как источник для получения пресной воды другим способом. Потоки стекающего с гор холодного воздуха образующегося в результате остывания скал после захода солнца обладают большим запасом энергии. Ее можно использовать для получения электричества, а затем уже с помощью этой электроэнергии получать пресную воду из морской.

Опреснение морской воды – это процесс, заключающийся в удалении из воды различных солей, дабы ее можно было пить или использовать для решения некоторых технических задач.

Применяющиеся способы опреснения морской воды широко известны. Это электродиализ, прямой осмос, обратный осмос, сепарация, замораживание, ионный обмен, дистилляция, флеш-дистилляция. Все эти способы опреснения воды требуют очень большого расхода электроэнергии и поэтому не получили широкого распространения.

Помимо этого, около двух третей запасов пресной воды в мире заморожены в ледниках и снежных покровах. Остальная часть находится в почве, откуда ее выкачивают настолько быстро, что природа просто не успевает восполнять потери.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ЗОНЕ ГЕОХИМИЧЕСКОГО БАРЬЕРА СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

Татарников В.О., Войнова М.В., Островская Е.В.,
Коршенко А.Н., Попова Н.В.

*КаспМНИЦ, г. Астрахань, Россия
kaspmniz@mail.ru*

Ключевые слова: Северный Каспий, устьевая область Волги, соленость, ДДТ, ДДЕ, пестициды.

Несмотря на запрет к использованию в сельском хозяйстве ДДТ в 70-х гг. прошлого века, а впоследствии и прекращение его производства, данный пестицид продолжает поступать в речные системы из точечных источников – мест захоронения. Так как сельское хозяйство хорошо развито на площади водосбора Волги, до сих пор фиксируется наличие ДДТ в стоке Волги.

Каспийское море является природным объектом, имеющим большое рекреационное, рыбохозяйственное значение. Во всех этих случаях необходимым условием будет приемлемое качество воды, которое зависит, в том числе, от содержания загрязняющих веществ (ЗВ). В свою очередь на распределение ЗВ существенное влияние оказывает соленость морских вод.

Материалом для исследования послужили результаты производственного экологического мониторинга, проводимого Каспийской нефтяной компанией в период с 2001 по 2017 гг. на лицензионном участке, расположенном на пространстве от Волго-Каспийского канала до Иголкинского банка, т.е. охватывающем большую часть мелководья устьевого взморья Волги.

Исходный массив данных был разбит на группы, по выделенным диапазонам солености, для которых были рассчитаны средние значения. Используя классификацию вод устьевого взморья Волги, предложенную А.Н. Косаревым, мы выделили следующие диапазоны солености: 0–2‰ – диапазон, в котором происходит смена ионного состава воды с речного на морской; 2–6‰ – воды с преимущественным влиянием речных вод; 6–9‰ – фронтальная

зона, и диапазон солености свыше 9‰, занятый морскими водами.

Как и следовало ожидать, концентрация ДДТ и его производных в придонном слое оказалась выше значений поверхностного слоя, что указывает на возможное поступление пестицидов из донных отложений. Интересным является то, что повышенные концентрации производных ДДТ чаще всего характерны для вод, где доминирует влияние реки (до 6‰), а самого ДДТ – в водах с более «морской» соленостью. Такое распределение может указывать на поступление ДДТ так же и из других источников, не связанных со стоком Волги. На наш взгляд таким источником может выступать атмосферный перенос.

Соотношение $ДДД+ДДЭ/ДДТ$ указывает на время поступления ДДТ, если значение > 1 , то поступление ДДТ произошло относительно давно, если меньше, наоборот, загрязнение относительно свежее. Анализ показал, что с повышением солености данное соотношение уменьшается, что указывает на новое поступление ДДТ в море, возможно с прибрежных территорий.

В заключение можно сказать, что с волжским стоком в море поступает уже подвергшееся деградации ДДТ, концентрация которого снижается в зоне геохимического барьера. Также было выявлено наличие относительно свежего загрязнения ДДТ, которое не связано с волжским стоком. А многолетняя динамика индекса $ДДД+ДДЭ/ДДТ$ указывает на постепенную деградацию пестицидов в море.

**ПОПУЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
RAPANA THOMASIANA В ЧЕРНОМ МОРЕ
ЗА ПЕРИОД 2013–2017 ГГ. (НА ПРИМЕРЕ СУХУМСКОЙ
БУХТЫ, АБХАЗИЯ)**

Цыбулевская М.В.

*ИЭАНА, АГУ, г. Сухум, Республика Абхазия
m.tsybulevskaya@mail.ru*

Ключевые слова: *Rapana thomasiana*, Сухумская бухта, рост, возраст, пол, адаптационные перестройки.

Черное море оказалось водоемом-приемником для многих экзотических видов. В середине 40-х годов XX века рапана была отмечена в Черном море. Современный этап существования популяции рапаны в Черном море характеризуется своеобразными адаптационными процессами.

Материалом для исследования популяции рапаны послужили сборы моллюсков в 2013–2017 гг. из акватории Сухумской бухты (на обрастаниях развалин Сухумской крепости) Абхазии. Сухумская бухта – одна из трёх крупнейших бухт Восточного Причерноморья (наряду с Пицундской и Батумской). Грунты – галечники с остатками крупного обломочного материала (скалы, валуны). Кормовой базой для рапаны на участках сбора является мидия *Mytilus galloprovincialis*.

Сборы материала производились в начале сентября с помощью легкого водолазного снаряжения и акваланга на глубинах 0–10 метров. Исследования охватывали количественные характеристики рапаны (численность, биомасса), размерно-весовые, половые и возрастные показатели.

Происходящее в настоящее время изменение количественных и качественных характеристик сообществ кормовых объектов *Rapana thomasiana* в акватории Черного моря Абхазии, в свою очередь, вызвало ряд морфологических и адаптационных перестроек в структуре популяции *Rapana thomasiana*.

В акватории Сухумской бухты (на обрастаниях развалин Сухумской крепости) средняя численность особей *Rapana*

thomasiana на участках составляла 0,68 экз./м, тогда как средняя биомасса – 15,54 г/м². На исследуемых участках возраст особей не превышал четырех лет. Самой многочисленной возрастной группой в выборках в Сухумской бухте были особи двух лет – 64,29%. В популяции Сухумской бухты моллюски четырех лет представлены 7%.

Результаты промеров раковин рапаны: особи с наименьшим размером раковины – 15 мм, и с наибольшим размером – 68 мм. В процентном отношении большую часть составили особи размерной группы 35–45 мм – 51,27%, доля мелких моллюсков с высотой раковины менее 35 мм составила 18,03%.

В исследуемых выборках встречались моллюски массой от 3,02 г до 49,94 г. В Сухумской бухте в возрасте 1 года средняя масса (с раковиной) моллюска составляет 11,89 г, в возрасте 2-х лет – 27,86 г, 3-х лет – 44,44 г, 4-х – 47,94 г. Средняя масса мягкого тела у моллюсков с размерами менее 35 мм составляет 1,87 г, а у особей с размерами от 55–68 мм – 11,6 г.

Средняя величина коэффициента упитанности рапаны в модальном размерном классе – 35–45 мм составляет 3,99. Низкий коэффициент упитанности свидетельствует о голодании и определенной степени истощения особей *Rapana thomasiana*.

Анализ половой структуры позволяет прогнозировать ее численность на ряд ближайших поколений или лет. В акватории Сухумской бухты соотношение полов (самец-самка) составляет 3,5:1 – половая структура рапаны характеризуется неравным соотношением полов с преобладанием самцов в каждой из размерно-возрастных групп, тогда как на начальном этапе соотношение полов равнялось 1:1. Это является интересной особенностью современного состояния рапаны в Черном море у берегов Абхазии и может указывать на проявление половой дифференциации раковины *Rapana thomasiana*.

Учитывая и резюмируя все вышеизложенные факты, можно с уверенностью утверждать о становлении внутрипопуляционных особенностей *Rapana thomasiana* (Crosse, 1861) в ареале Черного моря у берегов Абхазии, с момента попадания рапаны в биоценоз ракушечника по настоящее время.

АППРОКСИМАЦИЯ ПРОФИЛЯ СЕРОВОДОРОДА В ЧЕРНОМ МОРЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИЕЙ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ 2010–2016 ГГ.

Шокурова И.Г., Медведев Е.В., Кондратьев С.И.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
igshokurova@mail.ru*

Ключевые слова: Черное море, карбонатная система, сероводород, плотность воды, аппроксимация.

Карбонатная система, как водная составляющая цикла углерода (CO_2), является одной из основных буферных систем мирового океана, и ее трансформация приводит к изменениям химических равновесий, которые могут повлиять на ключевые биологические процессы. При расчете карбонатной системы в Черном море, являющимся анаэробным бассейном, наряду с водородным показателем (pH) и карбонатной составляющей общей щелочности (Alk) необходимо учитывать гидросульфидную составляющую Alk, вычисляемую на основе данных о содержании сероводорода (H_2S). Так как большинство измерений Alk и pH в Черном море не сопровождалось сопутствовавшими измерениями $[\text{H}_2\text{S}]$, возникает задача восстановления отсутствующих профилей концентрации сероводорода. Для этой цели на основе данных гидрохимических измерений в Черном море, выполненных в 2010–2016 гг., были проанализированы варианты аппроксимации аналитической функцией вертикального распределения сероводорода в зависимости от плотности. Аппроксимация профиля сероводорода проводилась в зависимости от различных представлений плотности – условной плотности σ_t , потенциальной плотности σ_θ и от плотности с учетом давления $\sigma_{s,t,p}$. Анализ вертикального профиля сероводорода выявил неоднозначность соответствия концентрации сероводорода величине условной плотности σ_t в слое 1300–2000 м из-за наличия инверсии в профиле σ_t в интервале глубин 1700–2000 м (придонном квазиоднородном слое). В профиле сероводорода в шкалах σ_θ и $\sigma_{s,t,p}$ неоднозначности отсутствовали за счет отсутствия инверсии в

профилях σ_θ и $\sigma_{s,t,p}$. Для аппроксимации профиля сероводорода в зависимости от σ_t и σ_θ использовалась экспоненциальная функция с линейным показателем, от $\sigma_{s,t,p}$ – логистическая функция. Ошибка аппроксимации вычислялась на стандартных горизонтах, на которых находится наибольшее число измерений. Значения концентрации сероводорода, рассчитанные по аналитическим функциям, сравнивались с измеренными значениями. Наибольшие ошибки аппроксимации для всех трех аппроксимаций получены в верхнем слое анаэробной зоны за счет низких значений концентрации сероводорода и активных динамических процессов в этой зоне моря. Так как вклад гидросульфидной составляющей в общую щелочность составляет от 0,1% в верхней части анаэробной зоны до 6% в придонном слое, эти ошибки не должны вносить погрешности в итоговое определение этой составляющей, а более высокие требования предъявляются к точности аппроксимации в глубоководном слое. Средняя величина ошибки аппроксимации ниже 500 м составляет 3% для аналитической зависимости сероводорода от потенциальной плотности σ_θ и 2,3% от плотности с учетом давления $\sigma_{s,t,p}$. Ошибка аппроксимации при представлении сероводорода в шкале σ_t увеличивается до 8% в придонном квазиоднородном слое за счет неоднозначности зависимости сероводорода от σ_t . Наименьшие ошибки расчета гидросульфидной составляющей получены для аналитического представления профиля сероводорода в шкале плотности с учетом давления $\sigma_{s,t,p}$ и в шкале потенциальной плотности σ_θ . Таким образом, эти аппроксимации наиболее полно удовлетворяют необходимым параметрам точности расчета гидросульфидной щелочности. Аппроксимация профиля сероводорода логистической функцией имеет наименьшие ошибки в глубоководном слое. Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0003.

ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА МОРСКОЙ ВОДЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ МИКРОБИОТЫ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТА

Шоларь С.А.¹, Гайский П.В.², Степанова О.А.²

¹*МГИ, г. Севастополь, Россия*

²*ИПТС, г. Севастополь, Россия*
sa.sholar@mail.ru

Ключевые слова: показатель ослабления света, прозрачность морской воды, микробиота, микроводоросли, альговирuses, вирусный лизис.

Вирусы гидросферы, самые многочисленные и наименее изученные среди гидробионтов, играют значительную роль в функционировании водных экосистем, принимая активное участие в круговороте органического углерода, в процессах функционирования пищевых цепей и в биоразнообразии, в изменениях в атмосфере (роль в циркуляции CO₂, O₂ и диметилсульфида – биоактивного газа, играющего важную роль в формировании облаков), а значит и климата. По мнению ученых (Suttle, 2007; Wommack., Colwell, 2000) морские вирусы – главные игроки в глобальной экологии.

Поскольку методики поиска и изоляции водных (морских) вирусов основаны на их способности лизировать своих одноклеточных хозяев (бактерий или микроводорослей), что сопровождается наблюдаемым изменением цветности и прозрачности используемых для этих целей жидких культур микроорганизмов, логично утверждать, что вирусы участвуют и в изменении прозрачности морской воды с учетом того, что снижение прозрачности и усиление цветности морской воды связано и с сезонными пиками бактерио- и фитопланктона. Первые эксперименты в малых объемах (до 4,0 мл) по изучению изменения оптической плотности морской воды в результате вирусного лизиса были выполнены на базе Института биологии южных морей (ныне Институт морских биологических исследований – ИМБИ) в

г. Севастополе в период 1997–2004 гг. с использованием оптического анализатора Биоскрин С, что отражено в авторской монографии (Степанова, 2004). Результаты свидетельствовали о снижении оптической плотности морской воды в присутствии разных составляющих микробиоты (культуры бактерий, микроводорослей и вирусов) под влиянием вирусного лизиса.

Цель проводимого исследования – в условиях эксперимента установить изменения в динамике показателя ослабления света (ПОС) морской воды под влиянием микробиоты, в состав которой включали разные виды культур микроводорослей, моделируя пик их цветения, и альговирuses, моделируя процессы в гидросфере, возникающие при пике цветения фитопланктона.

Для выполнения эксперимента использовали авторскую универсальную лабораторную установку, куда вливали морскую воду в объеме 30 л (отбор пробы проводили из Карантинной бухты 6.04.2018 г.) и добавляли культуры микроводорослей (0,4–0,9 л), полученные из коллекции водорослей ИМБИ. Затем в лабораторную установку помещали вирусные суспензии альговирuses (0,4–0,9 л) из личной авторской коллекции. Исследования проводили с использованием спектрального измерителя ослабления света (СИПО4, созданного на базе МГИ), причем мониторинговые измерения ПОС морской воды выполнялись в динамике до и после добавления микробиоты.

Наши первые эксперименты позволили зафиксировать изменение (снижение) прозрачности морской воды после добавления культур микроводорослей (модель цветения фитопланктона), а также выявить динамику изменения (увеличения) прозрачности после добавления альговирuses (модель влияния вирусов на цветение фитопланктона). Полученные результаты в ходе проведения двух экспериментов (с 9.04.18 по 23.04.18) выявили четкую зависимость изменения ПОС в процессе вирусного лизиса их одноклеточных хозяев – микроводорослей.

Таким образом, наши первые экспериментальные исследования по изучению влияния вирусов на оптические свойства морской воды установили роль вирусного лизиса в повышении ее прозрачности. Планируются дальнейшие исследования в данном междисциплинарном научном направлении.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ (ФОРМИРОВАНИЕ, МЕТОДЫ ОЦЕНКИ, РОЛЬ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ БАЛАНСЕ)

Щодро А.Е., Чепыженко А.И.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
alexeyug@hotmail.com*

Ключевые слова: гидроэкология, буны, заливы, оптические характеристики.

В природных и искусственных акваториях существуют основные течения, и на них, как правило, накладываются вторичные потоки, достаточно слабые. Эти течения усиливаются и усложняются при гидротехническом воздействии в прибрежной зоне. Это приводит к активизации литодинамических процессов и изменениям конфигурации дна, разрушению берегов и проч. Важной задачей гидроэкологии водоемов, морских заливов, прибрежных территорий является активизация массообмена в них. При этом обеспечиваются достаточный захват кислорода из воздуха и достаточная интенсивность происходящих биохимических реакций, приводящих к деструкции молекул загрязняющих и вредных веществ (ЗВ), к их окислению и выпадению в осадок. Неучет влияния вторичных течений приводит к необратимым последствиям. Например, устройство прокопа глубиной 11 м у о. Тузла в 2003 году привело к катастрофическому размыву восточной оконечности острова, переформированию дна и повышению мутности. При этом в районе оконечности косы возникли интенсивные локальные отрывные течения, которые по группе признаков могут быть классифицированы как вихревые. Их образование в природной среде обусловлено сочетанием ряда факторов. При этом их влияние на прибрежную зону может быть как негативным – активизация абразионных процессов, взмучивание осажденных загрязняющих веществ, так и положительным – активизация мас-

сообмена, деструкция ЗВ. Интенсивные вихревые течения в прибрежной зоне с высоким антропогенным воздействием могут быть сформированы и гидротехническими сооружениями. При этом наиболее эффективным является формирование структуры концентрированного вихревого течения, обладающего вращательным и поступательным движением вдоль оси винта. Такие течения создают потоки со скоростями, превышающими скорости вдольбереговых течений; эти же течения имеют повышенные турбулентность и наносотранспортирующую способность. Возбуждение этих течений осуществляется специальными устройствами, простыми и технологичными – донными порогами (бунами), устанавливаемыми под различными углами к направлению транзитного потока, и, в зависимости от задач, – вдоль по потоку, или против него. При этом решаются многие задачи защиты и оздоровления территорий. В качестве примера отметим, что схема для промыва бухты (морского залива) при одностороннем направлении подхода вдольберегового течения к входу в бухту включает донный стационарный порог высотой от 1–1,5 м до 1/3 глубины потока, более высокое препятствие и входное отверстие для свободного входа потока в пространство за буной. Угол установки порога относительно направления набегающего потока порядка 30–40 градусов. Схема промыва прибреговой зоны для рек и водохранилищ представлена аналогично.

Формирование и перенос потоков взвешенного вещества и процессы взмучивания донных отложений были изучены с применением оптических методов по результатам натурных исследований в районе о. Коса Тузла. Динамические параметры оценивались как непосредственно измерением скорости и направления течения, так и косвенным методом – по распределению и трансформации взвешенного вещества в потоке с учетом дисперсного состава. Процессы взмученности оценивались по локальным неоднородностям органического вещества.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме 0827-2018-0004 (шифр «Прибрежные исследования»).

КОМПЛЕКСНЫЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РЕЧНОГО СТОКА В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Щука С.А., Артемьев В.А.

ИО РАН, г. Москва, Россия
s_shchuka@mail.ru

Ключевые слова: речной сток, соленость, температура, показатель ослабления, хлорофилл «а», взвесь, придонный слой.

На протяжении последних нескольких лет Институт океанологии РАН регулярно проводит комплексные экспедиции в морях Российской Арктики. В 2017 году в ходе одной экспедиции впервые были проведены исследования крупнейших сибирских рек – Оби (Карское море), Хатанги и Лены (море Лаптевых), Индигирки и Колымы (Восточно-Сибирское море). Объем стока воды этих рек ~ 1300 км³, наносов 70 млн. т. Для оценки распределения речного стока по акваториям морей, проведены исследования от устьевой зоны в виде разрезов со станциями и непрерывных попутных измерений характеристик поверхностного слоя. Зондирования производились СТД зондом SBE9Plus с батометрической системой отбора проб (карусель SBE32). Вертикальное распределение концентрации взвешенного вещества оценивалось по значениям показателя ослабления света морской водой *S*, которые, практически одновременно с зондом, измерялись автономным прозрачномером ПУМ. Для проведения работ в экстремально мутных водах эстуариев рек, измерительная часть прозрачномера ПУМ была доработана – появилась возможность изменять оптическую базу, что позволило снять ограничения по динамическому диапазону измерений. ПУМ погружался до касания грузом дна, что позволяло получать данные о структуре придонного слоя на расстоянии 0,3–0,5 метра от дна. Двумя приборами, кроме сопутствующих, проводились измерения вертикальных профилей солености, температуры, хлорофилла «а» (Хл «а»), мутности, показателя ослабления света *S*. Все три моря

подвержены влиянию распределения за счет стока многочисленных больших и малых рек. Наибольшее влияние оно оказывает на поверхностный слой, в котором соленость в устьевых районах падала до 3,5 епс. Для сезона глубокой осени, когда проходили измерения, гидрологическая ситуация в устьевых районах всех рек, кроме Хатанги, практически одинакова – довольно чистый приповерхностный слой, где значения $C \geq 5$ и мутный придонный слой, где C может достигать 50 м^{-1} (Индигирка), в котором концентрируется взвесь речного выноса. Экстремумы показателя ослабления в придонной области находятся не в устьевой зоне, а на некотором удалении, где ослабевают перемешивание речного выноса за счет приливных течений и рек, и появляются условия для седиментации осадочного материала: р. Индигирка $C = 58 \text{ м}^{-1}$ в 270 км от устья, р. Колыма – 27 м^{-1} в 120 км, р. Лена – 20 м^{-1} в 110 км, р. Обь – 56 м^{-1} в 50 км. Ситуация в устье р. Хатанги существенно отличается от остальных рек – мутный поверхностный слой, где $C \geq 40$ и экстремально мутный придонный $\geq 80 \text{ м}^{-1}$. Возможная причина – сужение устьевой зоны за счет береговой линии Таймыра и островов с одной стороны, и особенности рельефа дна с другой. В разных морях придонный слой речного выноса прослеживается на расстоянии от 150 (р. Лена, р. Хатанга и р. Колыма) до 450 (р. Индигирка) километров от берега. На всех разрезах максимальные значения Хл «а» наблюдаются в устьевых районах в приповерхностном слое и связаны с пресноводным фитопланктоном. По данным STD зонда они не превышают 2 мкг/л , даже на «Хатангском» разрезе, где значения C очень большие. Это говорит о низкой концентрации биогенных элементов в составе речного выноса. Анализ результатов измерений показал отсутствие корреляции между значениями C и Хл «а», что говорит о безусловном доминировании терригенной взвеси в ее общем количестве.

ОЦЕНКА СКОРОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО ТЕЧЕНИЯ ПО ОПТИЧЕСКИМ СНИМКАМ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Юровская М.В.^{1,2}, Кудрявцев В.Н.^{1,2}

¹МГИ, г. Севастополь, Россия

²РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия
mvkosnik@gmail.com

Ключевые слова: оптические спутниковые изображения, течения, дисперсионное соотношение, фотографии морской поверхности, солнечный блик.

Представлена методика восстановления скорости приповерхностного течения по двум последовательным изображениям одного и того же участка морской поверхности, сделанным в зоне солнечного блика. Подход основан на анализе фазового сдвига яркости изображений в Фурье-пространстве. Разрез фазового спектра в направлении распространения волн дает оценку дисперсионного соотношения волн. Отклонение дисперсионной кривой от теоретически предсказанного линейного дисперсионного соотношения для гравитационных волн на глубокой воде соответствует проекции скорости течения на выбранное направление.

Поскольку спектр волнения, как правило, содержит в себе компоненты в широком диапазоне углов, то используя несколько участков фазового спектра, соответствующих различным направлениям волн, можно получить оценку вектора течения. Для соответствующего расчета с помощью метода наименьших квадратов, на фазовом спектре выбирались точки со значениями спектра когерентности, превышающими пороговый уровень (0,8).

Тестирование методики на фотографиях морской поверхности, сделанных с самолета, показало хорошее соответствие полученных дисперсионных кривых линейной теории, однако

точности географической привязки изображений оказалось недостаточно для надежного восстановления вектора скорости течения.

Последовательные оптические снимки поверхности также доступны в спутниковых данных (Landsat-8, Sentinel-2 и др.). Благодаря особой конструкции датчиков, задержка во времени между изображениями соседних каналов может составлять до нескольких секунд. Подход был применен к данным Sentinel-2 в различных районах океана. Восстановленные скорости течений находятся в соответствии со значениями геострофической скорости по данным альтиметрии. Достоверность получаемых оценок также подтверждается выполнением законов сохранения, следующих из уравнений распространения волновых лучей.

Развитие предложенного подхода в приложении к новым спутниковым данным могло бы послужить созданию нового инструмента оценки скорости течений из космоса.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0003.

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ДОПЛЕРОВСКОГО СДВИГА ЧАСТОТЫ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА, РАССЕЯННОГО МОРЕМ

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

¹МГИ, г. Севастополь, Россия

²Университет Мэриленда, Колледж Парк, США

³IFREMER, Брест, Франция

уууurovsky@gmail.com

Ключевые слова: обратное рассеяние, радиолокация, доплеровский сдвиг, течения.

Сигналы обратного микроволнового рассеяния от морской поверхности, помимо хорошо известной модуляции на частотах

ветровых волн, имеют выраженные низкочастотные (НЧ) флуктуации на периодах, существенно превышающих периоды самых длинных ветровых волн (десятки секунд – минуты). Такие НЧ колебания присущи как удельной эффективной площади рассеяния (УЭПР), так и доплеровской скорости морской поверхности. Будучи коррелированными, они могут вызывать изменения средней доплеровской скорости, связанные с осреднением по пятну облучения в случае, если его размер охватывает масштабы НЧ изменчивости, например, при измерении скорости течений доплеровским скаттерометром. Несмотря на то, что НЧ колебания радиолокационного сигнала были обнаружены довольно давно (Plant et al.: *J. Geophys. Res.*, 1983, 88, 9747–9756), однозначного физического описания их природы предложено не было. Обычно предполагается, что НЧ колебания УЭПР связаны с турбулентным характером ветрового потока, генерирующего шероховатость морской поверхности. Однако, доплеровская скорость, в случае резонансного механизма рассеяния, определяется фазовой скоростью брегговских волн, не зависящей от скорости ветра. Поэтому НЧ флуктуации доплеровской скорости нельзя объяснить турбулентностью ветра.

В результате проведённых лабораторных и натурных экспериментов показано, что наблюдаемые НЧ колебания не связаны с какими-либо собственными шумами измерительной аппаратуры (температурный дрейф частоты генерации СВЧ колебаний, коэффициентов усиления и т.п.). Ветер играет существенную роль в формировании НЧ спектра УЭПР вертикальной поляризации (определяет около 30% НЧ дисперсии сигнала), что говорит в пользу упомянутой выше ветровой природы НЧ колебаний. В то же время, НЧ колебания связаны с групповой структурой уклонов волн, что указывает на нелинейный характер модуляционной передаточной функции (МПФ), связывающей УЭПР и уклон, которая обычно считается линейной.

Доплеровская скорость, измеряемая прибором с конечной шириной диаграммы направленности, неизбежно содержит модуляционную компоненту, возникающую из-за осреднения по волнам, имеющим длину меньше размера пятна облучения. Ввиду нелинейности МПФ доплеровская скорость, осредненная даже по сравнительно малому пятну (в нашем случае несколько

метров в поперечнике), приобретает НЧ составляющие. Для демонстрации этого механизма формирования НЧ спектра радиолокационного сигнала проведён численный эксперимент, показывающий, что для объяснения наблюдаемых НЧ особенностей спектров достаточно учёта нелинейности МПФ и эффектов осреднения по пятну облучения. Исключением является спектр УЭПР вертикальной поляризации, для которого около половины НЧ дисперсии обусловлено вариациями скорости ветра. Примечательно, что нелинейность слабо влияет на численно смоделированный средний доплеровский сдвиг. Таким образом, показано, что нелинейность МПФ лишь видоизменяет спектр временных реализаций УЭПР и доплеровской скорости, вызывая появление в нем НЧ составляющих, в то время как средняя доплеровская скорость удовлетворительно описывается с помощью «классической» линейной МПФ.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда в рамках проекта 17-77-10052.

СЕКЦИЯ 3
«СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И АКТУАЛЬНЫЕ
ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ
ОКЕАНОЛОГИИ»

ИНДЕКСЫ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ
ГЛУБОКОЙ КОНВЕКЦИИ В СУБПОЛЯРНЫХ МОРЯХ
СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ И СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО
ОКЕАНА

Башмачников И.Л.^{1,2}, Федоров А.М.^{1,2}, Весман А.В.^{1,2,3}

¹СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

²ФОНД «НАНСЕН-ЦЕНТР», г. Санкт-Петербург, Россия

*³АНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
igorb1969@mail.ru*

Ключевые слова: глубокая конвекция, межгодовая изменчивость, альтиметрия, плотность воды, Гренландское море, море Лабрадор, море Ирмингера.

Глубокая конвекция в Гренландском море, морях Лабрадор и Ирмингера, являясь частью глобального океанского конвейера (атлантической термохалинной циркуляции – АТХЦ), представляет собой важный компонент климатической системы Земли. Основной вклад в АТХЦ вносят воды Гренландского моря, тогда как воды моря Лабрадор составляют порядка 30% в общем переносе АТХЦ [1, 2]. Согласно последним исследованиям, лабрадорская вода до 50% может состоять из глубинных вод, сформированных в море Ирмингера [3].

Исследования межгодовой изменчивости глубокой конвекции представляют собой существенные трудности в связи с малым размером конвективных ячеек и изменчивостью их положения в пределах акваторий от года к году. В работе, на основе комбинированного массива натуральных и спутниковых данных ARMOR

(1993–2016 гг.), формируется реперный массив межгодовой изменчивости интенсивности конвекции в субполярных морях. Интенсивность конвекции определяется через максимальную за холодный период года глубину верхнего квазиоднородного слоя (ВКС).

По полученной межгодовой изменчивости максимальной глубины конвекции тестировалась эффективность использования косвенных индексов интенсивности конвекции: (1) аномалии уровня моря по данным спутниковой альтиметрии, (2) интегральной плотности воды в областях наиболее частого развития глубокой конвекции и (3) объема глубинной водной массы. Результаты показали, что первый индекс, улавливая некоторые детали хода межгодовой изменчивости интенсивности конвекции, не может быть использован для ее детального прогноза. Второй индекс показал высокую корреляцию с межгодовой изменчивостью максимальных глубин ВКС в Гренландском море и море Ирмингера, но низкую – в море Лабрадор. Третий индекс показал наилучшее соответствие с межгодовой изменчивостью реперного массива. По последним двум индексам межгодовая изменчивость интенсивности конвекции была прослежена назад до 1950 г.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-17-01151).

Литература

1. Yashayaev I. Hydrographic changes in the Labrador Sea, 1960–2005 // Prog. Oceanogr. – 2007. – 73. – P. 242–276.

2. Rhein M. et al. Deep water formation, the subpolar gyre, and the meridional overturning circulation in the subpolar North Atlantic // Deep Sea Res. II. – 2011. – 58(17). – P. 1819–1832.

3. Гладышев С.В., Гладышев В.С., Фалина А.С., Сарафанов А.А. Зимняя конвекция в море Ирмингера в 2004–2014 гг. // Океанология. – 2016. – 56(3). – С. 353–363.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БАНКА ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ ФГБУН МГИ

Белокопытов В.Н., Годин Е.А.

МГИ, г. Севастополь, Россия
godin_ea@mhi-ras.ru

Ключевые слова: банк данных, океанографические данные, программное обеспечение, доступ к данным.

Создание банков и специализированных баз океанографических данных является одним из важнейших направлений работ в области морских информационных систем и технологий. Такие работы на протяжении длительного времени активно ведутся в Банке океанографических данных ФГБУН МГИ (БОД МГИ), при этом особое внимание уделяется формированию специализированной базы данных «Черное море».

Основными направлениями деятельности БОД МГИ являются:

- археология и спасение данных;
- контроль качества данных;
- совершенствование программного обеспечения;
- создание информационных продуктов;
- обеспечение пользователей данными и информацией;
- участие в обмене данными и в проектах, в том числе международных, информационной направленности.

В рамках обозначенных выше направлений актуальными для БОД МГИ представляются следующие работы.

Дальнейшее пополнение БОД данными текущих экспедиционных исследований, продолжение работ по археологии данных, развитие существующих и формированию новых баз данных. Продолжение начатых в 2016 году работ по сравнению массивов данных по Черному морю, имеющихся в БОД МГИ, с другими массивами, что, как показывают предварительные оценки, может привести к существенному увеличению количества данных наблюдений в базе «Черное море» БОД МГИ.

Развитие и совершенствование в тесном сотрудничестве со специалистами соответствующего профиля ФГБУН МГИ, а также с использованием опыта, полученного в ходе участия в европейских проектах, процедуры автоматизированного контроля качества гидрологических и гидрохимических данных.

Совершенствование ПО БОД МГИ, что предполагает, как работы по обновлению СУБД, так и разработку специального ПО для решения конкретных задач, например, для сравнения крупных массивов океанологических данных.

В минувшие годы данные, хранящихся в БОД МГИ послужили информационной основой при создании целого ряда информационных продуктов, получивших высокую оценку, как внутри страны, так и за рубежом. Необходимо продолжение работ в этом направлении с использованием обновленных баз данных и современных информационных технологий.

В ФГБУН МГИ все большее распространение получают базы данных результатов модельных расчетов. Объемы генерируемой прогностической информации, как и объемы получаемых с помощью современных технических средств данных, измеряются терабайтами, что создало бы определенные трудности при ее хранении на сервере БОД МГИ. С целью оптимизации хранения и доступа к этим данным представляется целесообразной разработка распределенной системы баз данных с единой точкой доступа, что предусматривает хранение информации на серверах в соответствующих научных подразделениях ФГБУН МГИ с доступом к ним через сервер БОД МГИ.

БОД МГИ рассматривается как базовая структура в случае создания центра ЕСИМО по региону Черного моря на базе ФГБУН МГИ. Соответствующая рекомендация была принята на совещании «Анализ работы ЕСИМО. Рассмотрение вопросов оптимизации и повышения качества информационных ресурсов единой системы», состоявшемся в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» в марте 2018 года. Очевидно, что создание такого центра потребует значительных научно-организационных, технических и административных усилий.

В настоящее время работы по развитию БОД МГИ выполняются в рамках темы государственного задания ФГБУН МГИ № 0827-2018-0002 «Оперативная океанология».

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ ПЛАВУЧЕСТИ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ

Букатов А.А., Соловей Н.М., Павленко Е.А.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
mhi.pavlenko@gmail.com*

Ключевые слова: море Лаптевых, Восточно-Сибирское море, плотность, стратификация, частота плавучести, устойчивость вод.

На основе данных высокого разрешения (World Ocean Atlas 2013 NOAA) проведено исследование климатических особенностей регионального распределения устойчивости вод моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря за период 1955–2012 гг. Выполнен анализ внутригодовой изменчивости пространственного распределения максимума частоты Вьяйсяля-Брента и глубины его залегания.

Для акваторий моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря по среднемесячным массивам температуры и солёности в узлах четверть-градусной сетки были рассчитаны климатические среднемесячные профили значений частоты Вьяйсяля-Брента. Выполнен анализ изменчивости вертикальной структуры частоты плавучести (N), определен ее максимум по глубине ($N_{max}(z)$) и глубина его залегания (Z_{max}).

Установлено, что в море Лаптевых внутригодовой максимум устойчивости вод приходится на летний период. Наибольшая плотностная стратификация наблюдается в юго-восточной и юго-западной частях моря, где распространяется большая часть вод речного стока. В юго-восточном районе максимум устойчивости наблюдается в июне, а величина $N_{max}(z)$ составляет 48 цикл/час, глубина залегания максимума равняется 5 м. В юго-западной части моря внутригодовой максимум устойчивости приходится на июль, величина $N_{max}(z)$ составляет 40 цикл/час, а $Z_{max} = 5$ м. Значения $N_{max}(z)$ в устьевой области реки Лена в июле достигают

86 цикл/час, а в устьевой области реки Хатанга 75 цикл/час. В северном районе моря Лаптевых внутригодовой максимум устойчивости отмечен в августе, значение $N_{max}(z)$ составляет 24 цикл/час, а величина Z_{max} равняется 15 м.

В южных районах моря Лаптевых слой скачка плотности прослеживается на протяжении всего года. В холодный период он заглубляется на горизонты 10–15 м, а в теплый период приподнимается к поверхности. В северном районе моря к концу зимнего периода года конвективное перемешивание проникает до горизонтов 100–150 м.

В Восточно-Сибирском море сезонный пикноклин прослеживается с июня по сентябрь. Величина $N_{max}(z)$ в юго-западном районе Восточно-Сибирского моря в августе составляет 52 цикл/час, в юго-восточном районе и в северной части моря $N_{max}(z)$ в июле составляет 46 цикл/час и 42 цикл/час соответственно. Наибольшие значения устойчивости отмечены в приустьевых участках рек Колыма и Индигирка, где величины $N_{max}(z)$ достигают 70–85 цикл/час.

В более глубоководных районах Восточно-Сибирского моря (северном и юго-восточном) на протяжении всего года отмечаются достаточно большие градиенты плотности на глубинах 25–55 м. Эти глубины соответствуют слою постоянного пикноклина, в котором значения $N_{max}(z)$ достигают 12–18 цикл/час в теплый период года, и 14–21 цикл/час в осенне-зимний.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0003.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СПРАВОЧНИКОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Бухановский А.В., Лопатухин Л.И.

*Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, Россия
boukhanovsky@mail.ifmo.ru*

Ключевые слова: гидрометеорологический справочник, информационный массив, компьютерное моделирование, распределенная среда, большие данные, машинное обучение

Основой гидрометеорологических атласов и справочников является информационная база, включающая в себя как «сырые» (исходные) данные, так и результаты их обработки и анализа. В настоящее время перспективным видится создание электронных гидрометеорологических справочников, основанных на агрегации данных наблюдений и модельных расчетов за длительные (30 и более лет) временные интервалы. При этом, несмотря на апробированные возможности технологий компьютерного моделирования окружающей среды, а также развитие алгоритмических и технических средств высокопроизводительных вычислений и обработки больших данных, основную проблему порождает практика создания и использования таких информационных баз в связи с:

- разнообразием номенклатуры гидрометеорологических характеристик, применяемых расчетных моделей и их комбинаций, а также многовариантности процедуры идентификации параметров моделей по данным наблюдений;
- высокой ресурсоемкостью подготовки и актуализации информационных массивов для гидрометеорологических атласов и справочников;

- сложностью организации запросов к большим объемам распределенных гидрометеорологических данных, исходя из модели их вероятностного анализа (временных рядов, пространственно-временных полей, пространственно-временных треков);
- недостаточной развитостью методов и технологий оценки качества результатов моделирования и статистик на их основе (особенно – для экстремальных характеристик).

В докладе обсуждается подход к комплексному решению этой проблемы, основанный на интеллектуализации процесса подготовки, оценки и использования гидрометеорологических данных на разных уровнях с использованием машинного обучения и когнитивных технологий. Так, на уровне выбора моделей, а также построения расчетных сценариев предлагается механизм виртуальных моделирующих объектов, основанный на онтологическом описании моделей гидрометеорологических процессов и реализующего их ПО в распределенной вычислительной среде. На уровне настройки и калибровки расчетных моделей используются эволюционные методы, реализующие процесс метаобучения моделей на фактических данных с одновременной оценкой качества самих данных. На уровне технологической реализации рассматриваются методы планирования распределенных вычислений и запросов к большим данным, основанные на семантическом описании их структуры. На уровне интерпретации применяются ансамблевые методы оценки неопределенности расчетных гидрометеорологических характеристик. В качестве примера реализации данных технологий рассматривается распределенная вычислительная инфраструктура для обеспечения расчетной гидрометеорологической информацией по морям Российской Арктики. Созданный на ее основе информационный массив за 1965–2014 г. (с шагом 1 час, сетки 15×15 и 5×5 км) общим объемом около 250 Тб содержит поля основных метеорологических и гидрологических характеристик, а также характеристик морского волнения и льда. Демонстрируется, что применение описанных выше подходов позволяет в 3–12 раз (в зависимости от сценария) оптимизировать временные характеристики подготовки и использования данных.

Предложенный подход может быть тиражируемым для других районов Мирового океана.

ФИТОПЛАНКТОН В ВОДАХ АЗОВСКОГО МОРЯ – ХАРАКТЕРИСТИКА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ.

Василенко Н.В.¹, Медведева А.В.²

¹КФУ, г. Симферополь, Россия

²МГИ, г. Севастополь, Россия

nadinkot.nk@gmail.com

Ключевые слова: фитопланктон, хлорофилл-а, цианобактерии, спутниковые снимки, Азовское море, дистанционное зондирование.

Азовское море представляет собой не крупную по площади и мелководную (средняя глубина – 7,4 м) акваторию, подверженную быстрому прогреву в весенне-летний период. На гидрологический режим бассейна также существенное влияние оказывает пресноводный сток впадающих рек (Дон, Кубань и др.). Сочетание этих факторов обеспечивает оптимальные условия для развития фитопланктона и возникновения цветений.

В настоящей работе по данным дистанционного зондирования среднего (SeaWiifs, MODIS Aqua и Terra) и высокого (Sentinel-2, Landsat-8) разрешения выявляются временная и пространственная изменчивость количества фитопланктона в Азовском море с 2003 по 2017 гг., анализируется зависимость от гидрометеорологических условий в период гидрологического лета (с мая по сентябрь).

На протяжении 15-летнего периода наблюдаются выраженные изменения в концентрации хлорофилла-а (при оценке всей акватории): постепенный рост до 2007 г., затем – снижение. По мере прогрева вод (начиная с апреля-мая) возрастает численность фитопланктона и достигает максимальных значений к июлю-августу. В течение гидрологического лета наблюдается реакция

фитопланктона на поступление фотосинтетически активной радиации: при ее увеличении возрастает концентрация хлорофилла-а, при уменьшении – снижается.

В пространственном отношении наибольшая численность фитопланктона и ситуации выраженного цветения выявляются вблизи устьевых и прибрежных районов Азовского моря – в частности, в Таганрогском заливе и водах юго-восточного побережья. В этих районах концентрация хлорофилла-а достигает в отдельные годы 50 мг/м³ и выше. Тем не менее, под действием ветра средних и высоких скоростей осуществляется перенос приустьевых вод к центральным районам бассейна.

Помимо типичного фитопланктона, в Азовском море ежегодно обнаруживаются сине-зеленые водоросли, которые в оптическом диапазоне на спутниковых снимках высокого разрешения различимы в виде единичных нитевидных структур. Эти структуры формируются преимущественно в зонах с высоким содержанием биогенов (приустьевые), но на протяжении ряда лет (2004–2010, 2012 и 2013 гг.) регистрируются аномальные цветения цианобактерий в центральных районах акватории.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ СТОКОВ НА РАЗВИТИЕ РЕКРЕАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С ПОМОЩЬЮ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Вержевская Л.В., Багаев А.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
liudmyla.ver@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: муниципальные стоки, экологическое состояние, геоинформационные системы, пляжи Севастополя.

Севастопольский регион является не только историко-культурным центром и военно-морским портом, но и курортным городом, и его рекреационная привлекательность остается достаточно высокой, особенно в летний сезон. Загрязнение прибрежной акватории бытовыми стоками несет риски для

экологического состояния региона. Таким образом, задача разработки методов для оценки влияния сбрасываемых в море сточных вод на городские пляжи является актуальной.

Цель данной работы – разработка методики, позволяющей оценивать масштаб и характер загрязнения акватории в районе пляжей на основе данных регулярного мониторинга и результатов численного моделирования распространения свободной примеси.

Для совмещения данных о концентрациях загрязняющих веществ, информации о географическом положении и техническом состоянии стоков, а также обобщенных результатов численного моделирования была использована геоинформационная система QGIS. В качестве исходных материалов использовались данные о среднегодовой концентрации загрязняющих веществ (ЗВ), предоставленные Главным управлением природных ресурсов и экологии города Севастополя (Севприроднадзор): нефтяных углеводородов (НУ), синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) и биогенных веществ (фосфаты и неорганические формы азота: азот аммонийный, нитриты и нитраты) вблизи Севастопольских пляжей. Кроме того, использовались результаты моделирования распространения примесей в различных гидродинамических условиях, опубликованные сотрудниками ФГБУН МГИ В.В. Фоминым и Ю.Н. Рябцевым, согласно которым форма и положение пятна изменяются со временем, но за время порядка суток пятно загрязнения распространяется вокруг источника. В самых неблагоприятных сценариях границы пятна распространяются в направлении берега и именно такие сценарии использовались для оценки возможного влияния муниципальных стоков на городские пляжи.

На основе архивных материалов проведен анализ распространения загрязняющих веществ вблизи пляжей г. Севастополя. На пляжах «Любимовка» и «Учкуевка», расположенных вблизи стока КОС «Северные», ситуация в отношении рассматриваемых веществ относительно благополучная, поскольку в пессимистичных сценариях границы пятна не доходят до берега.

Выпуск трубы на КНС в Балаклаве располагается вблизи входа в бухту, сбрасываемые воды не подвергаются химической или биологической очистке, а концентрации ЗВ зачастую

значительно превышают ПДК. При этом загрязненные воды могут достигать некоторых близлежащих пляжей.

Что касается пляжей вблизи КОС «Южные», то если бы труба выпуска не была повреждена, то акватории пляжей не были бы затронуты. Однако в ходе экспедиционных исследований по проекту «Диагностика» было выявлено наличие разрыва в трубе выпуска. Поэтому при рассмотрении ситуации в данной области с учетом разрыва в трубе для некоторых пляжей выявлены неблагоприятные условия, например, пляж «Голубая бухта».

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме 0827-2018-0004 (шифр «Прибрежные исследования»).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ЕСИМО ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Воронцов А.А., Баталкина С.А.

*ВНИИГМИ-МЦД, г. Обнинск, Россия
vorv@meteo.ru*

Ключевые слова: ЕСИМО, ГИС, морская природная среда, пространственные данные, геосервисы.

Государственная информационная система ЕСИМО (Единая система информации об обстановке в Мировом океане) создана в рамках Федеральной целевой программы «Мировой океан». В ЕСИМО разработаны единые нормативно-методические, организационные, метрологические и технологические основы ведения информационных ресурсов по Мировому океану в Российской Федерации, выполнена интеграция ведомственных информационных систем и центров данных для обеспечения пользователей данными и информационной продукцией о состоянии и загрязнении океанов, морей России и прибрежных территорий, а также информацией о различных видах морской деятельности. Поставщиками информации в систему и основными пользователями

ЕСИМО служат представители ряда министерств и ведомств: МЧС, Минприроды, Минобороны, Минобрнауки, МИД, Минпромторга, Минэнерго, Минтранса, Минэкономразвития, Роскосмоса, Росгидромета, Росрыболовства, РАН.

ЕСИМО – распределенная система информационных ресурсов и технологий, организационных структур федеральных органов исполнительной власти и общественных объединений, специализирующихся в области производства, сбора, накопления, обработки, хранения, защиты и распространения информации об обстановке в Мировом океане, функционирующих в едином правовом и информационном пространстве. ЕСИМО – это сложный комплекс развивающихся программно-технологических средств, среди которых – компонент управления пространственными данными, в состав которого входят ГИС-сервер, обеспечивающий публикацию и визуализацию пространственных данных в среде Интернет, и ГИС-визуализатор. В составе ГИС-сервера СУБД PostgreSQL с пространственным расширителем PostGIS и сервер Geoserver.

Для подготовки пространственной информации и обслуживания этой информацией пользователей системы созданы ГИС-технологии, обеспечивающие подготовку оперативной и статической информации во взаимодействии с системой распределённых баз данных, ведение базы пространственных данных, включая электронную картографическую основу, предоставление пространственных данных с использованием специального программного приложения и гео-сервисов. ГИС-технологии в ЕСИМО реализованы, в основном, в четырех видах: настольные ГИС-приложения для решения проблемно-ориентированных задач; динамические программные ГИС-приложение в виде «толстого клиента»; ГИС-технология подготовки электронных режимно-справочных пособий (атласов) по морской природной среде; оперативное ГИС-представление данных и результатов анализа в режиме «on-line».

Естественно, для интеграции электронных пространственных данных различной тематики была необходима единая картографическая основа, которая должна была отвечать определенным требованиям с учетом многообразия данных о морской среде и морской деятельности с разной степенью пространственного

охвата и подробности, в первую очередь – необходимость корректно позиционировать любую тематическую нагрузку от Мирового океана в целом до отдельных сегментов морских акваторий и береговых зон, что потребовало расширения масштабного ряда базовых данных электронной картоосновы (ЭКО) от глобального уровня для демонстрации обзорных тематических карт до локального уровня вплоть до отображения инфраструктуры морских портов РФ.

В настоящее время база пространственных данных ГИС-сервера ЕСИМО представлена следующими наборами пространственных данных:

- на мир (масштабы 1:50000000, 1:10000000 и 1:1000000);
- для субполярных областей мира – усечение по 30 градусу широты;
- на РФ масштабов 1:1000000 и 1:500000 – на всю территорию, 1:100000 – на прибрежные зоны морей европейской части РФ, что обеспечивает основу как на Россию в целом, так и на отдельные акватории;
- на территории 62 портов РФ масштаба 1:10000;
- цифровая модель рельефа суши и акваторий GEBCO с разрешением 30 минут на Мировой океан;
- цифровая модель рельефа суши SRTM с разрешением 3 минуты.

Для работы в системе создан геосервис мультимасштабной картоосновы, для которого все исходные пространственные данные от мира в целом до отдельного порта были организованы в единую масштабируемую картоснову. Сейчас применяется два варианта: разгруженная картографическая подложка (61 векторный слой) и полноформатная карта (123 векторных и растровых слоя). В системе ГИС-сервер позволяет работать с электронными картами и базами данных и решать различные прикладные задачи, связанные с природной средой исследуемого региона или акватории, с использованием математических моделей и методов.

Публикация данных в ГИС-сервере проводится либо прямым подключением GeoServer напрямую к базе интегрированных данных в среде PostgreSQL, либо публикацией данных в формате шейп-файлов, расположенных в файловой системе ГИС-сервера;

либо публикацией растров (формат GeoTIFF), расположенных в файловой системе ГИС-сервера.

Геосервисы публикуются в следующих версиях OGC стандартов: WMS – версии 1.0.0, 1.1.0, 1.3.0; WFS – версии 1.0.0.

Подготовка пространственных данных в виде изолиний или/и поверхностей, проводится путем обработки данных с точечной геометрией с помощью функционала компонент ГИС GRASS.

Управление процессами обработки данных выполняется автоматизированным путем через управляющие таблицы базы данных. Есть возможность управления Администратором напрямую.

В целом, задачи по созданию государственной системы реализованы. Однако, системе необходимо развитие и соответствие современному уровню развития информационных технологий.

БАЗЫ ДАННЫХ ПО ЧЕРНОМУ МОРЮ ФГБУН МГИ И ФГБУ ВНИИГМИ-МЦД: РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНЕНИЯ

Воронцов А.А.¹, Годин Е.А.², Ингеров А.В.², Исаева Е.А.²

¹ВНИИГМИ-МЦД, г. Обнинск, Россия

²МГИ, г. Севастополь, Россия

vorv@meteo.ru

Ключевые слова: базы данных, Черное море, программное обеспечение.

Формирование максимально полных баз океанографических данных и обеспечение доступа к ним заинтересованных пользователей представляется важной задачей. Данное утверждение полностью справедливо и для Черного моря, которое по числу выполненных в нем океанографических станций относится к наиболее исследованным регионам Мирового океана. Среди существующих в настоящее время баз океанографических данных по Черному морю созданные в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» и ФГБУН МГИ базы, относятся к числу самых полных. Эти базы содержат данные, полученные в Черном море научными судами

России, Украины, Болгарии, Турции, США, Франции, Румынии, Дании и других стран с конца XIX века по настоящее время.

В 2018 году были продолжены начатые в 2017 году работы по сопоставлению массивов океанографических данных по Черному морю, имеющих в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» и ФГБУН МГИ. Массив ВНИИГМИ-МЦД включает 145868 станций с 1884 по 2015 год; массив банка океанографических данных ФГБУН МГИ (БОД МГИ) – 160724 станции, с 1890 по 2015 год. Предварительный анализ массивов показал, что между ними имеются различия не только в общем количестве станций, но и в их распределении как во времени, так и по акватории Черного моря.

С целью оптимизации процедуры сравнения двух массивов данных в БОД МГИ была разработана специальная программа. Программа создана в среде Lazarus и позволяет просматривать метаданные, визуализировать их на карте и на основе сопоставления координат, времени выполнения станций и количества горизонтов расставлять «флаги», помечающие станции как «дубли», «дубли под вопросом» и «уникальные».

В настоящее время продолжается сравнение двух массивов метаданных, которые содержат информацию об океанографических станциях, выполненных в Черном море. По состоянию на 1 июля 2018 года были обработаны метаданные станций за период с начала наблюдений до начала 1970 г. В массиве данных БОД МГИ количество обработанных станций – 45626, из которых предположительно дубли – 26942, уникальные станции – 18684. В массиве данных ВНИИГМИ-МЦД обработано 35590 станций, предположительно дубли – 26244, уникальные станции – 9346.

В ходе работы было выявлено, что одних метаданных может оказаться недостаточно для однозначного определения станции, («дубли» или «уникальная»). В таких случаях, для повышения надежности получаемых результатов необходимо привлекать не только метаданные, но и данные наблюдений. В связи с этим предполагается дальнейшее развитие программного обеспечения с добавлением функций отображения списка параметров и просмотра профилей для обрабатываемых станций.

На ближайшую перспективу представляется целесообразным формирование совместной (ФГБУН МГИ и ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД») базы океанографических данных по Черному морю. По

предварительной оценке, такая база будет включать порядка 180 тысяч станций.

Работы выполняются в рамках договора о творческом сотрудничестве между ФГБУН МГИ и ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» и темы государственного задания ФГБУН МГИ № 0827-2018-0002 «Оперативная океанология».

КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА МОРЕЙ РОССИИ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЕСИМО

Вязилов Е.Д., Михайлов Н.Н., Белов С.В., Воронцов А.А.

*ВНИИГМИ-МЦД, г. Обнинск, Россия
vjaz@meteo.ru*

Ключевые слова: ЕСИМО, информационные ресурсы, мониторинг, моря России, использование.

В рамках Федеральной целевой программы «Мировой океан» создана Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО, <http://www.esimo.ru>), интегрирующая информационные ресурсы (ИР) в области океанографии и морской деятельности. Системой охвачено 20 центров ЕСИМО и 16 организаций, поставляющих данные в систему, из 12 ведомств и представляющих более 3400 ИР.

Отличительной особенностью ЕСИМО являются нацеленность на обслуживание органов государственного управления; масштабность проекта; тиражируемость программных средств; решение широкого круга актуальных задач; формирование единого информационного пространства за счет использования словаря параметров и общих кодов и классификаторов; наглядность и простота интерпретации данных за счет индикации пороговых значений параметров.

Основными функциями, выполняемыми ЕСИМО, являются: регистрация ИР, ведение метаданных, поиск, хранение, организация доступа к данным, решение информационно-аналитических задач, подписка на аналитические материалы, размещаемые на

портале единой системы и др. Средства информационной безопасности реализуют единую политику доступа к ресурсам и сервисам системы. Устойчивость работы системы достигается путем обеспечения мониторинга и диспетчеризации ее работы.

Основными подходами по созданию ЕСИМО являются:

- использование стандартов в области метаданных (ИСО 19115), OGC (стандарты ИСО серии 19100 – Географическая информация) для пространственных данных;
- удаленный ввод метаданных (сведений об ИР, рейсах НИС, проектах, приборах и т.п.);
- унификация данных за счет использования единого словаря параметров для атрибутов метаданных и данных;
- маппирование классификаторов (в системе используется более 400 международных, национальных, ведомственных и локальных классификаторов), позволяющее использовать любую нотацию кодирования;
- использование кроссплатформенных инструментальных средств – языки J2EE, XML, технология AJAX, сервер БД PostgreSQL, сервер приложений JBoss Portal, ГИС Server;
- классификация ИР по уровню обработанности данных (наблюденные, диагностические, прогностические, обобщенные), форме представления (точка, профиль, сетка, объектные файлы).

Эти подходы обеспечивают единообразный доступ ко всем ресурсам, использование одинаковых поисковых атрибутов для всех ИР, стандартизацию форм представления информации в виде карт, графиков, таблиц.

На основе программных средств и ИР ЕСИМО можно разработать средства мониторинга морей России в виде отдельных порталов. В региональных порталах кроме имеющихся в системе ресурсов, могут подключаться дополнительные источники данных – региональные ресурсы, пункты измерительной системы, система передачи данных Росгидромета, видеокамеры, датчики положения мобильных объектов, другие измерительные средства.

Кроме стандартных функций портала будут развиваться прикладные задачи информационного обеспечения морской деятельности. Таким образом, все пользователи системы могут наблюдать и анализировать актуальную информацию результатов мониторинга морских акваторий, совместно создавать новую информационную продукцию, обмениваться метаданными и данными, использовать информацию для принятия решений.

ОБ УСИЛЕНИИ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ ЦИКЛОНИЧЕСКОЙ И ШТОРМОВОЙ АКТИВНОСТИ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ И МОРЯХ РОССИИ

Вязилова Н.А.

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

Ключевые слова: циклоническая активность, повторяемость циклонов, шторм, скорость ветра, интенсивность осадков.

Изучение циклонической активности во внетропических широтах Северной Атлантики имеет важное значение и практический общественный интерес, так как с циклонами связано не просто изменение погоды, но и экстремально сильные ветра и осадки.

Оценка экстремальности циклонической деятельности включает анализ повторяемости глубоких циклонов (циклонов с давлением в центре от 970 гПа и менее), индекса циклонической активности, максимальной скорости ветра и интенсивности осадков, наблюдаемых в циклонах.

Расчет показателей циклонической и штормовой активности проводится на основе 6-часовых данных реанализа Национального метеорологического центра США NCAR-NCEP с января 1948 г. по настоящее время.

В данном исследовании центры циклонов определяются методом автоматической идентификации по данным атмосферного

давления на уровне моря. Интенсивность осадков и максимальная скорость приземного ветра выбирались из района близкого к центру циклона радиусом 5 град.

Исследование показывает, что в умеренных и приполярных широтах Северной Атлантики на фоне существенного уменьшения количества умеренных циклонов за период исследования значительно возросло количество экстремально глубоких циклонов, вклад которых в общее количество циклонов достиг 50% от в зимнюю половину года и 60% – в летнюю. В теплую половину года, по сравнению с холодной, интегральная интенсивность, как для всей группы циклонов, так и отдельно, для экстремально глубоких циклонов, существенно выше, особенно в последние два десятка лет.

В районах максимальной штормовой активности в Северной Атлантике, как в летнюю, так и зимнюю половину года большую часть составляют циклоны со скоростями ветра 17 м/с до 24 м/с, которые соответствуют 8, 9 и 10 баллам шкалы Бофорта. При этом постоянно растет доля глубоких циклонов, соответствующих определению «шторм», то есть циклонов, сопровождающихся скоростями ветра от 24 м/с и более.

Район Балтийского моря выделяется повышенной циклонической активностью, в том числе и повышенным количеством экстремально глубоких циклонов и штормов.

В южных широтах региона, в том числе, в районе Средиземного и Черного морей, циклоническую активность (и повторяемость, и интегральную интенсивность циклонов) обеспечивают умеренные циклоны. Однако, южные широты по сравнению с северными, выделяются более высоким процентом количества циклонов с высокой интенсивностью осадков. Осадки с интенсивностью более 1,25 мм/ч, характеризующиеся как «дождь» и «сильный дождь», наблюдаются в циклонах преимущественно южнее 55°с.ш. При этом, и в умеренных, и приполярных широтах Северной Атлантики за последние два десятка лет наблюдается тенденция к повышению количества циклонов с интенсивными осадками.

Таким образом, анализ показателей циклонической и штормовой активности свидетельствует не только о повышении количества глубоких циклонов во внетропических широтах Северной

Атлантики в последние два-три десятка лет, но и увеличении количества циклонов, сопровождающихся сильным штормовым ветром и интенсивными осадками, то есть, об усилении экстремальности циклонической и штормовой активности в исследуемом регионе. Данный вывод согласуется с основными выводами других исследователей.

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НА СТАЦИОНАРНОЙ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЕ В ГОЛУБОМ ЗАЛИВЕ

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

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

Ключевые слова: Черное море, измерение, ветер, скорость, направление, мониторинг.

С 2011 г. на стационарной океанографической платформе (СОП), расположенной в прибрежной зоне (600 м от берега) южного берега Крыма (пгт. Кацивели), проводился гидрометеорологический мониторинг (высоты волн, скорость и направление ветра, температура воздуха и моря, атмосферное давление, относительная влажность) с помощью разработанного в МГИ комплекса сбора гидрометеорологических данных (КСГД). Для измерения высот волн использовался витой резистивный волнограф с дискретностью опроса 4 Гц и возможностью регистрации высот волн до 10 м. Датчик для измерения скорости и направления ветра (М63МР) располагался на высоте 21 метр над уровнем моря. В данной работе скорость ветра приводилась к стандартной высоте 10 м по формуле, предполагающей наличие логарифмического подслоя и нейтральной стратификации. За период наблюдений 2011–2018 гг. было получено более 230 тыс. осредненных измерений гидрометеорологических параметров.

Цель настоящей работы состояла в анализе измеренных ветровых характеристик на СОП.

В результате анализа ветровых измерений на СОП, который с перерывами охватывает 8 лет, было получено, что наименьшие среднемесячные скорости ветра были в августе (4,8 м/с), а наибольшие – в декабре (6,9 м/с). В то же время значимых различий в амплитудах максимальных скоростей ветра, зарегистрированных на СОП, между летними (26,6 м/с) и зимними (28,2 м/с) месяцами не наблюдается, при этом порывы ветра достигали значений 41,6 м/с.

Штилевые условия (до 0,1 м/с) наблюдались всего в 1,1% всех случаев. Доминирующими были слабые ветра (0,1–5 м/с), на них выпадает 48% всех ветров. Умеренные ветра (5–10 м/с) регистрировались в 32% ситуаций. На сильные ветра (10–15 м/с) приходилось 14,9%. Крепкий ветер (15–20 м/с) был в 3,3%. Штормовой ветер (20–25 м/с) был измерен в 0,3% всех ветров. Сильный шторм (25–30 м/с) наблюдался в 0,04%.

В течении года наибольшую (26%) повторяемость имели ветра В направления, реже регистрировались ветра СВ (19%), З (16%) и С (14%) направлений. Ветра ЮЗ и СЗ румбов наблюдались в 11% и 6% случаев соответственно. Реже всего встречались ветра ЮВ (3%) и Ю (2%) направлений. В группе слабых ветров наиболее часто (повторяемость примерно по 19%) имели место ветра С, СВ и В направлений. В умеренных и сильных ветрах доминируют В (31–37%), З (19–22%) и СВ (19–20%) направления, Ю и ЮВ румбы практически не были зарегистрированы (менее 1%). Крепкий и штормовой ветер в районе СОП в 40% всех случаев был В направления, несколько реже (21%) – СВ. Крепкий Ю и ЮВ ветер почти не наблюдался (менее 0,1%). Ветра более 25 м/с были только В (61%), СВ (24%), СЗ (10%) и С (5%) направлений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-80028 и темы Государственного Задания № 0827-2018-0001.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Георга-Копулос А.А.

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

Ключевые слова: государственное управление морской деятельностью, морское планирование.

Существующая в Черноморско-Азовском регионе ситуация с обеспечением рационального природопользования ресурсами прибрежной зоны выявила ряд серьезных проблем, связанных с эффективностью механизма защиты морской окружающей среды, налаживания сотрудничества и взаимодействия между субъектами всех видов морской деятельности. Отсутствие реально действующих механизмов учета интересов субъектов морской деятельности при морском планировании и эксплуатации ресурсов прибрежной зоны и ее акватории существенно повышает экологические, социальные, экономические, политические и правовые риски для Российской Федерации, как прибрежного государства, принявшего на себя соответствующие международные обязательства. Еще более ситуация осложняется острой международно-политической обстановкой в регионе и существенной разницей в подходах к оперативному мониторингу состояния морской окружающей среды между странами Черноморско-Азовского бассейна. Негативным фактором, существенно осложняющим текущую экологическую ситуацию в регионе, является отсутствие ясных и эффективных принципов и механизмов взаимосвязи между субъектами государственного управления морской деятельностью и субъектами береговой хозяйственной деятельности по эксплуатации береговой составляющей прибрежной зоны.

Указанные выше проблемы делают актуальной разработку комплексной модели государственного управления и регулирования рациональным использованием ресурсов прибрежной зоны, а также создание системы правовых и административных решений по совершенствованию нормативно-правовой базы Российской Федерации в области защиты морской окружающей среды, а также повышению эффективности использования ресурсов и акваторий прибрежных зон Черноморско-Азовского побережья России.

Для разрешения обозначенных выше проблем требуется последовательно решить ряд задач, к которым относится проведение комплексного анализа существующей системы государственного управления в области морской деятельности на предмет усовершенствования данной системы и выработка фундаментальных принципов внедрения достижений и результатов морских исследований в сферу морского планирования с целью повышения эффективности использования ресурсов прибрежной зоны. Также требуется качественный анализ опыта Российской Федерации и других стран Черноморско-Азовского бассейна, а также опыта стран Евросоюза в области правового регулирования и управления ресурсами прибрежной зоны и выработки политики в области эффективной и рациональной защиты морской окружающей среды. Особо следует отметить необходимость выявления административных и правовых барьеров, препятствующих реализации фундаментальных принципов рационального природопользования ресурсов прибрежной зоны, а также препятствующих эффективной реализации национальной политики в области защиты морской окружающей среды. Наконец, следует отметить необходимость выработки модели эффективного взаимодействия морских научных организаций и других субъектов морской деятельности в вопросах использования ресурсов и акваторий прибрежной зоны России в Черноморско-Азовском регионе.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ БАНКА ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ ФГБУН МГИ ПРИ РЕШЕНИИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

Годин Е.А., Ингеров А.В., Пластун Т.В., Андрищенко Е.Г.,
Жук Е.В., Галковская Л.К., Исаева Е.А., Касьяненко Т.Е.

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

Ключевые слова: банк данных, базы данных, Черное море, карты и атласы, информационные продукты.

Банк океанографических данных ФГБУН МГИ (БОД МГИ) содержит данные океанографических наблюдений, выполненных в Атлантическом, Индийском и Тихом океанах, а также в Средиземном, Черном и Азовском морях. Особое место в БОД МГИ составляет специализированная база «Черное море», которая включает данные, полученные на более чем 160 тысячах океанографических станций начиная с 1890 года по настоящее время. Наряду с гидрологическими (температура, соленость), в эту базу входят гидрохимические, гидрооптические, метеорологические данные, данные наблюдений течений, дрейферные и другие данные. Информационные ресурсы БОД МГИ были широко востребованы при реализации различных тем и проектов, в том числе и международных, а также грантов РФФИ и РФФИ.

Остановимся на отдельных направлениях использования информационных ресурсов БОД МГИ.

Формирование специализированных баз данных. Специализированные базы данных формировались в соответствии с задачами конкретных исследований. В качестве примеров здесь можно привести сформированные в разные годы базы: для информационной поддержки прибрежных исследований (гидрология, гидрохимия, гидрооптика и др.); для изучения положения верхней границы анаэробных вод в Черном море (гидрология, H_2S , O_2); для оценки гидрохимического режима прибрежных вод Ялтин-

ского залива (гидрология, гидрохимия); для исследования экологического состояния Севастопольской бухты (гидрология, гидрохимия); для изучения многолетней динамики биогенных элементов в прибрежной акватории Гераклеяского полуострова (гидрология, гидрохимия); для исследования структуры циркуляции Черного моря на глубинах ниже главного пикноклина (база данных наблюдений глубоководных течений).

Создание информационных продуктов. С использованием данных БОД МГИ в рамках национальных и международных проектов в разные годы был создан целый ряд информационных продуктов как на электронных, так и на бумажных носителях. Данные БОД МГИ послужили информационной основой при создании карт соответствующих разделов Атласа Крыма, Национального атласа Украины, Океанографического атласа Черного и Азовского морей, электронного атласа «Физическая океанография Черного моря» и др.

Геоинформационные системы. В ГИС Черного моря и ГИС прибрежной зоны России в Черном море данные БОД МГИ используются в качестве информационной основы.

Валидация моделей. С целью проведения валидации моделей в БОД МГИ выполняется подготовка соответствующих массивов данных. Так, из БОД МГИ в ЭЦМП МГИ передаются данные контактных измерений (выборки STD-данных, данных дрейфтерных наблюдений и некоторые другие данные) для проведения валидации моделей и совершенствования методов анализа достоверности морских прогнозов.

Решение прикладных задач. Данные БОД МГИ использованы при выполнении научно-исследовательской работы «Исследование гидрологических характеристик на основе математического моделирования циркуляции и экспериментальных данных в заданных прибрежных акваториях в районах проектирования капитального ремонта глубоководных выпусков КОС».

Работы по развитию БОД МГИ и формированию баз данных для решения различных задач и созданию информационных продуктов в настоящее время осуществляются в рамках тем государственного задания ФГБУН МГИ № 0827-2018-0002 «Оперативная океанология» и № 0827-2018-0004 «Прибрежные исследования».

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИНАМИКИ ВОД НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД КРЫМА

Грузинов В.М.¹, Дьяков Н.Н.², Дианский Н.А.¹,
Мезенцева И.В.², Фомин В.В.¹, Коршенко А.Н.¹,
Жохова Н.А.¹, Мальченко Ю.А.²

¹ГОИН, г. Москва, Россия

²СО ГОИН, г. Севастополь, Россия

sogoin@mail.ru

Ключевые слова: Севастопольский регион, динамика вод, сточные воды, гидрохимические показатели, мониторинг, течения.

Интенсификация развития промышленной инфраструктуры прибрежных районов Черного моря в современный период оказывает решающее воздействие на качество вод не только в непосредственной близости от источников загрязнения, но и акватории моря в целом.

В отличие от восточного побережья Черного моря, где основным источником загрязнения прибрежных вод является речной сток, качество вод прибрежных вод Крыма в большей степени определяется сточными водами различного уровня очистки. Так, например, в регионе Севастополя (от мыса Лукулл до мыса Сарыч) в настоящее время функционируют 35 выпуска сточных вод, сбрасывающих в море ~ 60 млн. м³ стоков. Большинство сточных вод подвергаются только механической очистке (72,0% стоков) или сбрасываются вообще без очистки (14,5%).

Наиболее мощным источником загрязнения морских вод в Севастополе являются канализационные очистные сооружения (КОС) «Южные». Это обусловлено, с одной стороны, тем, что эти КОС являются крупнейшими в городе, а с другой – отсутствием полного цикла очистки вод, и повреждением на глубине 33–35 м нитки трубопровода.

В Севастопольском отделении ФГБУ «ГОИН» в 2017–2018 гг., используя собственное научно-исследовательское судно «Пеленг», выполнен цикл исследований динамики вод, современного гидрохимического состояния и уровня загрязнения акваторий Севастопольской бухты и взморья. Особое внимание при этом уделялось районам сброса сточных вод. Всего за 2017–2018 гг. сотрудниками СО ГОИН было выполнено 6 гидролого-гидрохимических съемок на взморье Севастополя и 5 съемок Севастопольской бухты (190 гидрологических и гидрохимических станций). Получено ~ 3200 результатов измерений гидрохимических показателей, а также данные о пространственном и вертикальном распределении характеристик гидрологического режима (направления и скоростей течений, температуры, солености, плотности воды, мутности). По результатам мониторинговых съемок зафиксированы значения гидрохимических показателей, превышающие нормативы – БПК, фосфор, нефтепродукты.

Полученные во время съемок характеристики течений в районе КОС «Южные» показали наличие двухслойного потока течений: в поверхностном слое преобладали течения северозападного направления со скоростями течений около 12–14 см/с. В придонном слое наблюдалось более интенсивные течения (21–40 см/с) юго-восточного направления. В районе повреждения трубопровода скорости течений составляли 12–18 см/с при максимальных значениях 13–21 см/с. Анализ инструментальных наблюдений в Голубой бухте в месте повреждения подводного выпуска КОС, выполненный на 20 автономных буйковых станциях (АБС) за весь период наблюдений, показал высокую повторяемость слабых течений (0–4 см/с). Такие малые скорости течений в месте выпуска в условиях отсутствия стратификации могут способствовать подъему загрязненных вод КОС «Южные» на поверхность.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (научный проект 17-05-41101 РГО_а «Определение природных гидролого-гидрохимических и антропогенных факторов влияния на качество вод прибрежных акваторий Черного моря у Крыма и Кавказа и разработка практических рекомендаций по снижению антропогенной нагрузки на морские экосистемы»).

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКСТРЕМУМОВ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПО ДАННЫМ МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

Евстигнеев В.П.¹, Лемешко Н.А.², Наумова В.А.³

¹СевГУ, г. Севастополь, Россия

²СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

³Севастопольский ЦГМС, г. Севастополь, Россия

vald_e@rambler.ru

Ключевые слова: экстремумы, ветер, волнение, температура воздуха, осадки, штормы, Азово-Черноморский регион.

В последние десятилетия климатический фактор становится явным вызовом устойчивому развитию Российской Федерации. Причем острота проблемы гидрометеорологической безопасности не снижается и может только возрастать в будущем в связи с увеличением изменчивости климата и повторяемости аномальных гидрометеорологических явлений. Исследования в этом направлении приобретают особую актуальность для морских прибрежных регионов в зонах сопряжения «моря-суша», где многие виды опасных гидрометеорологических явлений носят экстремальный характер вследствие взаимодействия гидрофизических, метеорологических и геофизических полей.

Параметры опасных условий погоды в прибрежной зоне определяются путем статистического оценивания экстремальных характеристик гидрометеорологических величин с учетом функций риска, определяющих наихудшие условия для морского транспорта и береговой инфраструктуры, испытывающих наибольшую гидродинамическую и ветровую нагрузку при развитии шторма. Однако чаще всего, на практике требуется знать наибольшие значения характеристик ветра, волнения и прочих элементов редкой повторяемости 1 раз в определенное число

(5, 10, 25, 50, 100) лет. Такая оценка невозможна без определения закона распределения экстремальных характеристик волн.

В работе даны оценки вероятных параметров ветра и волнения, температуры воздуха и суточного количества осадков в прибрежной зоне Азово-Черноморского региона, полученные по их предельным функциям распределения за период 1960–2013 гг. Использовались два методических подхода – метод блочных максимумов (распределенных по обобщенному закону GEV), и метод превышения порога (POT в англоязычной литературе). «Узким» местом применения подобных методик является сомнительная надежность статистических оценок вследствие ограниченного объема выборки экстремумов. Этот недостаток был устранен путем генерации достаточно большого количества суррогатных рядов экстремумов с временной структурой (а также законом распределения отдельных его членов), соответствующей эмпирической выборке. Для воспроизведения корреляционной структуры климатических рядов (с длиной «памятью») использовалась дробно-интегрированная модель авторегрессии – скользящего среднего (FARIMA) с амплитудной подгонкой (для соответствия членов ряда закону распределения экстремумов) на основе современного стохастического итерационного алгоритма.

Реализованный алгоритм позволил установить доверительные границы статистических оценок экстремальных величин гидрометеорологического режима с учетом нестационарности временных рядов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-01073.

ВЛИЯНИЕ ПРОПУСКОВ НАБЛЮДЕНИЙ НА ОЦЕНКУ СРЕДНИХ ВЕЛИЧИН ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Евстигнеев В.П.¹, Остроумова Л.П.², Наумова В.А.³,
Любарец Е.П.³

¹СевГУ, г. Севастополь, Россия

²ГОИИ, г. Москва, Россия

³Севастопольский ЦГМС, г. Севастополь, Россия

vald_e@rambler.ru

Ключевые слова: режимная оценка, средне многолетние величины, качество гидрометеорологических данных.

Одним из ключевых требований при обработке результатов стандартных гидрометеорологических наблюдений на сети станций и постов является качество статистических совокупностей данных, позволяющих получать надежные оценки гидрометеорологического режима отдельных регионов, составляющие основу справочно-климатической информации и помещаемые, например, в объединённых выпусках ежегодно-многолетних изданий Государственного Водного кадастра.

На качество статистических оценок по таким совокупностям данных оказывает решающее влияние наличие пропусков в наблюдениях, что нашло отражение в некоторых научно-методических работах, но не получило продолжения из-за отсутствия материалов наблюдений достаточного для такого вида анализа объема. В связи с тем, что в последние десятилетия накоплены объемные массивы гидрометеорологических данных, открывается перспектива объективного определения допустимого числа пропусков при расчете средних значений гидрометеорологических параметров на примере Азово-Черноморского региона. Критерием при этом является близость средних оценок, полученных по неполной выборке (с пропусками), к тем, которые могли бы быть получены по полной выборке данных.

В работе обсуждается вопрос построения расчетного алгоритма проверки статистической гипотезы о значимости отклонений между средними на основе искусственных выборок, полученных методом Монте-Карло. Основой для расчетов служат имеющиеся полные эмпирические выборки наблюдений без пропусков. Из полных выборок генерируются неполные ряды с заданным числом пропусков, по которым и проводится проверка вышеуказанной статистической гипотезы. Проблема такого подхода заключается в наличие сериальной корреляции результатов теста, которая снижает надежность статистических оценок. В работе рассматривается способ преодоления этой сложности путем внедрения бета-биномиального распределения результатов статистического теста и создание нового алгоритма.

Работа выполнена по данным прибрежных станций Азово-Черноморского региона по таким элементам как температура воздуха и воды, соленость и уровень моря, что необходимо для выработки рекомендаций по подготовке объединённых выпусков ежегодно-многолетних изданий Государственного Водного кадастра по морям.

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВОДНО-БОЛОТНОГО УГОДЬЯ «ВОСТОЧНЫЙ СИВАШ»

Ерёмина Е.С., Совга Е.Е.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
shchurova88@gmail.com*

Ключевые слова: залив Сиваш, лагуна, водно-болотное угодье Азовское море, водный баланс.

Территория водно-болотного угодья (ВБУ) «Восточный Сиваш» расположена в границах третьего и четвертого плесов Восточного Сиваша, залива Азовского моря (лагунного типа), и имеет статус международного значения. После перекрытия Северо-Крымского канала в 2014 г. изменилась пресная

составляющая водного баланса залива Сиваш, снизился уровень, и, как следствие, увеличился приток азовских вод. В акватории ВБУ изменился гидрологический режим, выраженный ростом солености. В ходе экспедиции МГИ в мае 2018 года, на станции вблизи «Арабатской крепости» (IV плес) определена соленость 82‰, в 2013 году, до перекрытия канала, в этом же районе соленость составляла 55‰. Тенденция роста солености наблюдается во всем водоеме. В третьем плесе в 2018 году концентрация соли составила 52‰, а в 2014 году – 34‰.

Изменение гидрологического режима в заливе Сиваш отражается на всей экосистеме, поэтому важен регулярный мониторинг динамики солености в акватории ВБУ «Восточный Сиваш».

Работа выполнена в рамках темы 0827-2018-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей» (шифр «Прибрежные исследования»).

ГИС ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ РОССИИ В ЧЕРНОМ МОРЕ

Жук Е.В., Годин Е.А., Ингерев А.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
alenixx@gmail.com*

Ключевые слова: ГИС, Черное море, прибрежная зона, базы данных, программное обеспечение.

В настоящее время геоинформационные системы (ГИС) получили широкое распространение как удобный инструмент для работы с пространственными данными и широко используются при проведении научных исследований и в практической деятельности. Разрабатываемая в ФГБУН МГИ «ГИС прибрежной зоны России в Черном море» призвана обеспечить информационную поддержку научных исследований этого региона.

При создании данной ГИС реализуется подход, основанный на использовании бесплатного программного обеспечения (ПО) и обеспечивающий независимость от сторонних сервисов. ПО для доступа к данным и их визуализации разработано на основе клиент-серверной архитектуры. Его серверная часть включает в себя базы данных (БД), картографический сервис, python- и php-модули, обеспечивающие взаимодействие между серверными и клиентскими приложениями. Для представления картографической информации используется MapServer, для управления океанографической базой – СУБД MySQL. Данное ПО обеспечивает визуализацию табличных данных, хранящихся в реляционной БД, а также текстовой и графической информации.

Специализированная БД для информационной поддержки прибрежных исследований состоит из двух основных блоков – Океанографического, который включает данные, полученные в ходе морских экспедиционных работ в прибрежной зоне, условно ограниченной изобатой 200 м и Блока данных прибрежной зоны, который содержит результаты прибрежных исследований (береговых экспедиций) и дистанционных наблюдений прибрежной зоны. Дополняет основные блоки блок социо-экономической информации, а также «Климатический океанографический атлас».

Океанографический блок сформирован на основе данных специализированной базы данных «Чёрное море» БОД МГИ. В состав этого блока входят: база гидрологических данных (температура и соленость, более 55 000 океанографических станций), база гидрохимических данных (более 10 500 гидрохимических станций, около 20 параметров) БД дрейфтерных измерений (более 6 тысяч измерений до изобаты 200 м), а также базы данных течений, гидрооптических и метеорологических данных.

Блок Прибрежной зоны состоит из трех БД:

– БД результатов исследований прибрежной зоны (БД включает данные о гранулометрическом и минеральном составе донных осадков, морфологические характеристики подводного склона и пляжей, положение береговой линии и другую информацию);

– БД речных эстуариев и прибрежных озер (данные, относящиеся к указанным объектам);

– БД аэрофотоснимков и спутниковых изображений (материалы аэрофотосъемки, спутниковые снимки, а также фотографии и видео, полученные с беспилотных летательных аппаратов).

Блок социо-экономической информации может включать сведения о хозяйственной деятельности в прибрежных районах, статистические данные и др.

Для каждого типа данных разработаны специальные программные модули обеспечивающие:

- выборку и визуализацию океанографических данных;
- выборку и отображение аэрофотоснимков и спутниковых изображений;
- выборку и отображение данных прибрежной зоны;
- выборку и визуализации карт климатического атласа.

В целом «ГИС прибрежной зоны России в Черном море» имеет модульную структуру, что обеспечивает возможность дальнейшего расширения ее функциональных возможностей и интеграцию новых типов данных.

Работа выполняется в рамках темы государственного задания ФГБУН МГИ № 0827-2018-0004 «Прибрежные исследования».

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ GEOTUBE ДЛЯ БЕРЕГОЗАЩИТЫ (НА ПРИМЕРЕ ЗАПАДНОГО КРЫМА)

Иваненко Т.А., Садыкова Г.Э.

*КФУ, г. Симферополь, Россия
sapronovat@mail.ru*

Ключевые слова: берегозащита, западный берег Крыма, подводный береговой склон.

Западный берег – один из старейших курортных районов. Активно осуществляется освоение и застройка объектами инфраструктуры для отдыха и оздоровления в пос. Новофедоровка, Фрунзе, Угловое, Андреевка, Кача, Любимовка. Побережье обла-

дает развитой транспортной инфраструктурой, обеспечено инженерными коммуникациями. Береговая зона практически на всем протяжении представлена пляжами. Комплексные инженерно-экологические изыскания показали, что с 2000 года ширина пляжей изменялась в незначительной степени, но имеется тенденция к сокращению их параметров. Согласно современным данным по результатам обследования берегозащитных сооружений Западного побережья Крыма, только 38,6% находятся в нормальном и удовлетворительном состоянии, 25% – в неудовлетворительном, 36,4% – в аварийном состоянии.

Особый интерес представляют исследования рельефа, литологического состава и строения подводного берегового склона. Между мысами Лукулл и Керменчик в районе с. Угловое при проведении натурных исследований дна бухты на расстоянии до 100–200 м от берега были обнаружены подводные гряды, по-разному ориентированные к береговой линии. Проведение промерных работ, отбор проб грунта и обследование дна показали, что подводные гряды сложены глыбами песчаников и гравелитов, прослеживающихся и в береговом обрыве. Несколько гряд вытянуты перпендикулярно к берегу, шириной 1,5–3 м и находятся на глубине 0,5–5 м. Высота гряд составляет 1–1,5 м при глубине над вершиной до 4–5 м, нагромождения глыб частично занесены песком.

В результате анализа существующего состояния системы берегозащиты исследуемого района, с ее катастрофически недостаточной протяженностью и недостаточной эффективностью ранее эксплуатируемых конструктивных решений, есть предложение о возможном использовании технологий на базе геотекстильных материалов для берегозащиты Западного побережья Крыма.

Одной из современных разработанных технологий, используемых для системы берегозащиты, является технология Geotube (рукавные дамбы). Данную технологию рукавных дамб береговых (РДБ) применяют при сооружении ядер молов и волноломов. Они предназначены для стабилизации и защиты береговой линии от волновой нагрузки (размывания и эрозии).

Дамбы РДБ представляют собой замкнутый рукав диаметром 2–5 м, выполненный из высокопрочной синтетической ткани с диаметром пор от 0,3 до 1 мм в зависимости от типа насыпного

грунта. Дамбы РДБ снабжены манжетами диаметром 150–300 мм для присоединения к напорному рукаву пульпопровода земснаряда (драги).

Подводный волнолом играет пассивную и активную роль. Он состоит из длинного ряда плотно уложенных и скрепленных между собой дамб, расположенных в 30–200 м от берега. Проходя над таким волноломом, волна теряет более 75% своей энергии. Волны способны перебрасывать через волнолом песок и гальку, что приводит к их накоплению за волноломом и постепенному формированию пляжа, который защищает берег от ослабленных остаточных волн. Таким образом, подводный волнолом является частично активным способом защиты.

Предложение по использованию данной технологии заключается в применении ее для защиты участка беговой линии в поселке Песчаное.

Внедрение прогрессивных методов берегозащиты, имеющих высокие экологические показатели и увеличивающих рекреационный потенциал побережья.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ ПОСЕЛКОВ СИМЕИЗ И КАЦИВЕЛИ

Кондратьев С.И.¹, Люльчак Д.С.²

¹*МГИ, г. Севастополь, Россия*

²*ЧГП РАН, пгт. Кацивели, Россия*
dashonok09@mail.ru

Ключевые слова: Лименский залив, растворенный кислород, биогенные элементы, рекреационное водопользование.

В работе представлены данные по распределению растворенного кислорода и биогенных элементов (неорганических форм азота, фосфатов и кремнекислоты) на придонном и поверхностном горизонтах, полученные в мае 2016 г. и сентябре 2015 г. на

НИС «Бирюза» в прибрежных акваториях поселков Симеиз и Качивели. Полученные результаты сравниваются с результатами осенней съёмки 2002 г. в Лименском заливе (п. Качивели).

Данная акватория является, в первую очередь, объектом рекреационного использования, и подвергается интенсивному росту антропогенной нагрузки. Поэтому, когда требуется определить пригодность к данному виду хозяйствования той или иной акватории, определяющим фактором должен выступать экологический мониторинг прибрежных вод.

Весенняя съёмка 2016 г показала, что данная акватория претерпевает существенную нагрузку в местах выброса сточных вод предприятиями аквапарк «Голубой залив» и очистных сооружений поселка Качивели. Но в связи с низкими температурами у дна сточные воды данных объектов хозяйствования не имеют значительного выхода на поверхность.

По сравнению с показателями осенней съёмки 2002 г., насыщение вод кислородом на придонном горизонте всей акватории в 2015 г. уменьшилось в среднем на 7%. Содержание в придонных водах солей аммония составило около 7 мкМ, а суммы нитратов и нитритов около 0,6 мкМ, что практически совпадает с показателями 2002 г. Содержание кремнекислоты на придонном горизонте практически не изменилось и оставалось на уровне 1,6 мкМ, тогда как содержание фосфатов заметно уменьшилось (0,15 мкМ в 2002 г. и 0,04 мкМ в 2015 г.).

Если в весенний период прогрев вод имеет четко выраженную стратификацию, то осенью температура приблизительно одинакова как в придонном горизонте, так и на поверхности. В связи с этим, наблюдаемый выход загрязняющих веществ на поверхность в осенний период существенно изменяет их фоновые концентрации.

На поверхностном горизонте в 2015 г. концентрация растворенного кислорода составляла 101,2% насыщения, что на 6% меньше чем в 2002 г. Концентрации фосфатов, нитратов, нитритов и силикатов так же имели меньшие показатели, чем в 2002 г. и составляли 0,13 мкМ, 0,226 мкМ и 0,145 мкМ соответственно. Содержание солей аммония в 2015 г. на поверхностном горизонте составило 3,05 мкМ.

Согласно СанПиН 2.1.5.2582-10 и ГН 2.1.5.1315-03 такие вещества как соли аммония и фосфаты относятся к классу малоопасных веществ, нитраты – к умеренно опасным, а кремний и нитриты к высоко опасным веществам в водоемах второй категории морского водопользования (рекреационное). Содержание данных веществ в весенний и осенний период на поверхностном и придонном горизонтах не превышало их ПДК, следовательно, прибрежную акваторию возле поселков Симеиз и Качивели можно характеризовать как экологически чистый водоём, пригодный к рекреационному использованию.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ

Коршенко А.Н.

*ГОИИ, г. Москва, РФ
korshenko58@mail.ru*

Ключевые слова: морская среда, гидрохимия, загрязнение, государственный мониторинг, формирование, функционирование, перспективы

История регулярных государственных наблюдений на морях СССР началась в 1959 г., когда Главное управление гидрометеорологической службы при Совете Министров (ГУГМС) начало издавать серию приказов по организации постоянной (вековой) сети береговых гидрометеорологических станций и гидрологических разрезов в открытых частях морей. Итогом стало появление в 1961 г. сводного Положения про эти станции и разрезы, закрепленные для наблюдений над вековым ходом элементов гидрологического режима морей. В Положении приводится перечень «вековых» станций, их положение на карте и перечисляются контролируемые элементы гидрологического режима, в число которых включены не только стандартные параметры (уровень моря

и ледовый режим, $T^{\circ}\text{C}$, $S\%$, цвет и прозрачность воды, содержание кислорода, рН, щелочность), но и концентрация биогенных элементов и радиоактивность. Были установлена частота и горизонты отбора проб, а также определено опубликование раз в 5–10 лет серии материалов из 4 каталогов по уровню моря, температуре и солёности, ледовом покрове и гидрохимия морей. Параллельно с гидрологическим направлением по определению климатических характеристик окраинных морей, развивалась идея о необходимости контроля качества морской среды, вследствие чего Постановлением СМ СССР от 30 сентября 1963 г. было установлено проведение систематических исследований химического состава загрязнителей морских вод. Первые наблюдения были выполнены в 1964 г., а с 1966 г. результаты наблюдений в рамках государственной программы мониторинга гидрохимического состояния и загрязнения морских вод по сей день публикуются в «Ежегоднике качества морских вод по гидрохимическим показателям». Со временем менялась и добавлялась научно-методическая база, оформленная в Руководящих Документах и Методиках. Перед распадом СССР научно-исследовательский флот Госкомгидромета состоял из 47 судов неограниченного плавания и нескольких сотен маломерных судов. В 1993 г. количество станций контроля морской среды ОГСНК достигло 649. После этого происходило постепенное сокращение флота и программ наблюдений. В 2017 г. было выполнено 264 станции на акватории девяти морей и у о. Шпицберген в 46 локальных прибрежных районах, наиболее подверженных антропогенному воздействию – в эстуарных районах рек, на акватории портов, вблизи крупных городов и т.д., контролируемых прибрежных участках 9 морей. Всего отобрано 2162 пробы морской воды и 160 проб донных отложений, из которых 100 приходится на залив Петра Великого Японского моря. Выполнено 49589 анализов в рамках программ государственной системы мониторинга морской среды Росгидромета. Традиционно наибольшим количеством станций и выполненных анализов было на Каспийском, Балтийском и Японском морях – 5025, 9957 и 9947 анализов соответственно. В прибрежных водах Крыма их количество достигло 6129 в 2017 г. В рамках программы мониторинга общее количество параметров контроля состояния морской

среды в воде и донных отложениях включало 68 отдельных анализов и определений. Это гидрологические параметры, стандартная гидрохимия, концентрация биогенных элементов (азот, фосфор и кремний) и загрязняющих веществ. Последняя группа обычно включает определение концентрации суммарного содержания нефтяных углеводородов, определяемых методом инфракрасной спектрофотометрии, фенолов, СПАВ, от 1 до 12 тяжелых металлов (ТМ), а также стойких органических загрязнителей (СОЗ). К последним относят, главным образом, хлорорганические пестициды (ДДТ и его метаболиты, ГХЦГ и его изомеры), хлорбензол, а также существенно реже другие хлорированные углеводороды, фосфорорганические пестициды, ПАУ и ПХБ. Из общего объема анализов основная часть выполненных определений относится к стандартным гидролого-гидрохимическим параметрам: стандартная гидрохимия – 21,7%, O_2 – 8,9%, pH – 4,5%, биогенные элементы – 25,9%. Определение концентрации НУ составляло 4,3%, фенола – 2,8%, СПАВ – 3,2%, ТМ – 14,6%, пестициды – 7,6%, другие СОЗ – 2,1%, загрязнение донных отложений – 4,35%. Основная характеристика системы контроля качества морских вод РФ остается прежней: осуществляемая программа мониторинга состояния и уровня загрязнения морской среды является устаревшей и не соответствует современным требованиям. Программа не является комплексной – с оценкой физико-химических параметров и их влияния на состояние морских биологических сообществ (последствия загрязнения). Из всех доступных объектов мониторинга почти исключительно исследуется морская вода (объект исследований). Она ориентирована почти исключительно на стандартные гидрохимические определения с минимальным включением в план работ загрязняющих веществ (цель контроля). Программа резко контрастирует с международной практикой, нацеленной на выявление последствий климатических изменений и уровня загрязнения морской среды, в основном особо опасными органическими ЗВ, на морскую биоту и закрепленной в Директивах ЕС (WFD, MSFD) и других нормативных актах. Для исправления сложившейся ситуации Правительство РФ и ответственные за мониторинг окружающей среды ведомства (МПР и Росгидромет) предприняло

попытки на государственном уровне внести изменения в структуру и формирование мониторинга окружающей среды в целом и морей в частности. В дополнение к существующей законодательной базе были приняты ПП-РФ №681-2013 (о государственном экологическом мониторинге и госфонде данных), ПП-РФ №477-2013 (об осуществлении госмониторинга состояния и загрязнения окружающей среды), подписан приказ Росгидромета №23 от 02.02.2017 (Об утверждении Концепции совершенствования системы мониторинга загрязнения окружающей среды с учетом конкретизации задач федерального, регионального и локального уровней на 2017–2025 годы). В документе особо подчеркивается сложность стоящих задач реформирования системы мониторинга, особенно с учетом изношенности оборудования и недостатка финансовых ресурсов, а также приводится дорожная карта реформ на период до 2025 г. Для реализации утвержденных планов готовится целый ряд ведомственных Руководящих Документов с изложением обновленных принципов формирования систем мониторинга морской среды и порядка проведения работ, срок приемки которых установлен в 2018–2019 гг.

СРОКИ ПОЯВЛЕНИЯ ПЕРВОГО УСТОЙЧИВОГО ЛЬДА И ПОЛНОГО ЕГО ТАЯНИЯ В РАЙОНЕ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ БЫВШЕГО АРАЛЬСКОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА СНИМКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ СО СПУТНИКОВ *AQUA/TERRA* ПРИБОРАМИ *MODIS* В 2008–2018 ГГ.

Кузьмичёва Т.Ф.

МГИ, г. Севастополь, Россия
yanart01.81@yandex.ru

Ключевые слова: Аральское море, лёд, спутники *AQUA/TERRA*, сканер *MODIS*.

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.

Цель данной работы – проанализировать снимки, полученные в 2008–2018 гг. со спутников *AQUA*, *TERRA* сканирующим радиометром *MODIS*. Определить дату первого появления льда для каждого года; дату, когда лёд полностью растаял, и сравнить с аналогичными данными для условно-естественного периода (Бортник, Чистяева, 1990), который закончился приблизительно 50 лет назад. Сравнительный анализ этих данных может служить свидетельством изменчивости климата в этом районе.

Спутники *AQUA* и *TERRA* пролетают над акваторией Аральского моря каждый день. *TERRA* около 12, а *AQUA* около 16 часов по Московскому времени. Снимки со спутника *TERRA* принимаются в комбинации цветовых полос true, 7-2-1, 3-6-7 с разрешением 2 км, 1 км, 500 м и 250 м; снимки со спутника *AQUA* принимаются в комбинации цветовых полос true и 7-2-1 с тем же разрешением. Анализировались, как правило, снимки в комбинации цветовых полос 7-2-1 и true с разрешением 250 м, т.е. в день

не менее 4-х снимков. За промежуток времени с сентября по май 2008–2018 гг. проанализировано более 10000 снимков.

Для анализа выбран район Северного Арала, в котором солёность после строительства Кок-Аральской плотины через пролив Берга стала быстро уменьшаться. Промежуток времени выбран таким образом (2008–2018 гг.), чтобы солёность Северного Арала приблизительно совпадала с солёностью этих вод в условно-естественный период (1940–1960 гг., 50 лет назад). Строятся таблицы, которые сравниваются с таблицами, полученными в условно-естественный период.

Делаются следующие выводы: 1) ранняя, средняя и поздняя даты первого появления льда в заливе Сары-Чеганак (Северный Арал), в условно-естественный период хорошо совпадают с ранней, средней и поздней датами первого появления льда в современный период (2008–2017 гг.); 2) ранняя, средняя и поздняя даты полного освобождения ото льда в условно-естественный период хорошо совпадают с ранней, средней и поздней датами полного освобождения ото льда в современный период (2008–2017 гг.). Таким образом, анализ снимков, полученных со спутников *AQUA/TERRA* сканером *MODIS* в 2008–2017 гг., не указывает на изменение климата в районе Северного Арала ни в сторону потепления, ни в сторону похолодания.

Методом кусочно-линейной интерполяции выводится формула для определения солёности в отдалённых районах моря по температуре замерзания, измеряемой со спутников, и таблице зависимости температуры замерзания от солёности. Показано, что точность, с которой мы определяем солёность, будет равняться 1 ‰ в том случае, когда точность измерения температуры со спутника будет равняться 0,05°C (при существующей ныне точности в 0,6–1°C).

ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПОЛЯРНЫХ РЕГИОНАХ

Куприков Н.М.^{1,5,6}, Иванов Б.В.^{2,6}, Доронин Д.О.³,
Журавский Д.М.¹, Дубиненков И.В.¹, Зайков К.С.⁴,
Сабуров С.А.⁴, Сорокин П.А.⁵

¹АНО НИЦ «Полярная инициатива», г. Москва, Россия

²СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

³СПб УГПС МЧС России, г. Санкт-Петербург, Россия

⁴САФУ, г. Архангельск, РФ

⁵МГИМО, г. Москва, Россия

⁶АНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия

info@russianpolar.ru

Ключевые слова: Арктика, технический комитет, стандартизация, арктический ГОСТ, конкурентоспособность.

В XXI веке Российская Федерация активно развивает свое присутствие в полярных регионах. Поддержание приоритета Российской Федерации в Арктической зоне базируется на отечественной наукоёмкой продукции и импортозамещении перспективных технологий.

Арктическая зона Российской Федерации является особым регионом, где техника и технологии подвержены экстремальным температурам и должны соответствовать специальным инфраструктурно-климатическим характеристикам. Именно высокое качество и тактико-технические характеристики отечественной высокотехнологичной продукции являются залогом «научного приоритета» и превосходства в Арктике.

Для развития Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) необходимым и важным является установление «научного приоритета» в данном регионе путем разработки специальных инструкций, технических регламентов, национальных стандартов и нормативных документов. Таким образом, нацио-

нальная практика технического регулирования инфраструктурной деятельности в данном регионе может послужить основанием для повышения качества жизни в АЗРФ.

Развитие присутствия РФ в Арктике оправдано ресурсами, логистикой и стратегическими возможностями, которые открывает для экономики АЗРФ. Таким образом, разрабатываемая система обслуживания инфраструктуры требует, в свою очередь, решения ряда стратегических задач, связанных с труднодоступностью регионов АЗРФ.

В данный момент идет активное осуществление поставленных стратегических задач. В рамках реализации утвержденной Президентом РФ Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 г.

Возможность осуществления хозяйственной и инфраструктурной деятельности в полярных регионах является объектом постоянной конкуренции. В условиях глобальной конкуренции и сложных (многоуровневых) интегральных межгосударственных экономических связей основными участниками активной деятельности в полярных регионах сегодня становятся, в большей степени, высокотехнологичные компании и транснациональные корпорации.

Разработка специализированных стандартов для Арктической зоны РФ носит системный характер и объединяет федеральные органы исполнительной власти и российских производителей наукоемкой продукции.

Разработка подобных стандартов на национальном уровне позволит консолидировать подходы и механизмы межведомственного взаимодействия национальных участников полярных исследований, что благотворно скажется на дальнейшем развитии арктического региона. Более того, разработка стандартов для Арктики – задача, которую ранее не предпринимала ни одно государство. Этот фактор критически важен в усилении влияния в регионе, так как именно национальные стандарты могут и должны стать основой для международных стандартов полярных исследований, которым будут следовать все мировые игроки, заинтересованные в присутствии в арктическом регионе.

В настоящее время в структуре Росстандарта согласно приказа № 139 27.01.2017 создан Технический комитет № 187 «Проведение исследований в полярных регионах» (ТК187) для разработки специализированных стандартов для Арктической зоны РФ.

Практика функционирования и работы ТК187 – это форма сотрудничества представителей государства, профессионального и бизнес-сообщества, экспертов и общества в целом при проведении работ в области стандартизации. Процедура его создания, деятельности и другие вопросы функционирования регламентируются Федеральным законом от 29.06.2015 № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации».

В работе ТК187 могут принять участие все заинтересованные стороны, в том числе профильные органы государственной власти, предприятия и организации, экспертные сообщества, отраслевые объединения, другие представители государства, рынка и общества.

ТК187 – это экспертная площадка в области стандартизации, которая на консенсусной основе вырабатывает нормативно-технические документы, необходимые для развития той или иной отрасли или сегмента рынка.

Литература

1. Моисеев А. Безопасность Арктики: Международно-правовые позиции // М.: Международная жизнь. – 2016. – № 2. Режим доступа: <https://interaffairs.ru/jauthor/material/1435>.

2. Куприков Н.М. Интеллектуально-инфраструктурное обеспечение Технического комитета по стандартизации «Проведение исследований в полярных регионах» // Сборник научных трудов. – Тамбов.: ТГУ, 2017. – 332 с. Режим доступа: http://tambov.rosmu.ru/activity/attach/events/1337/7_1.pdf

3. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. Утверждена Президентом РФ В. Путиным 20.02.2013 г. – М.: Правительство РФ, 2013–18 с.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ГИДРООПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ЧЕРНОГО МОРЯ
В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2017 Г. ПО ДАННЫМ
КОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

**Латушкин А.А., Артамонов Ю.В., Федирко А.В.,
Корчемкина Е.Н., Скрипалева Е.А., Хурчак А.П.**

*МГИ, г. Севастополь, Россия
sevsalat@gmail.com*

Ключевые слова: общее взвешенное вещество, показатель ослабления направленного света, температура, соленость, Черное море.

Представлены результаты натуральных измерений гидрологической и гидрооптической структуры вод, выполненных в экспедициях на НИС «Профессор Водяницкий» в весенний (22.04.2017 – 6.05.2017) и летний (14.06.2017 – 4.07.2017) периоды. В периоды выполнения съемок на всех станциях в верхнем 50-метровом слое проводились измерения гидрологических и гидрооптических параметров. При проведении гидрооптических измерений использовался спектральный измеритель показателя ослабления направленного света (ПОС), разработанный в отделе оптики и биофизики моря МГИ РАН. На каждой станции выполнялось зондирование ПОС в четырех спектральных участках (460, 520, 590 и 625 нм). В работе внимание уделено анализу распределения концентрации общего взвешенного вещества ($C_{\text{ОВВ}}$). Этот параметр рассчитывался по измерениям ПОС на длине волны 625 нм (ПОС(625)) на основе эмпирического соотношения, полученного ранее для исследуемой акватории.

Измерения гидрологических параметров проводились зондирующим комплексом Sea-Bird-911 plus, скорость и направление течений измерялись профилографом течений ADCP WORKHORSE-300 kHz.

Распределение $C_{\text{ОВВ}}$ в поверхностном слое характеризовалось

следующими особенностями.

В период весенней съемки на большей части исследованной акватории наблюдались относительно низкие значения $C_{\text{ОВВ}}$, при этом диапазон их пространственной изменчивости невелик (0,3–0,6 мг/л). Исключение составляла северо-восточная часть съемки, где отмечались наиболее высокие концентрации взвеси, связанные с выносом азовских вод через Керченский пролив. В этой части съемки преобладали течения на запад, способствующие поступлению распресненных и мутных вод на акваторию съемки к югу от Керченского полуострова.

Период летней съемки отличался аномальными величинами гидрооптических характеристик, что было связано с интенсивным цветением микроводорослей – кокколитофорид (*Emiliania huxleyi*). Это хорошо согласуется с данными дистанционных измерений, подтверждающих аномальность гидрооптических параметров летом 2017 года. Ближайшее подобное явление наблюдалось в 2012 году.

Диапазон изменчивости концентрации общего взвешенного вещества по данным летней съемки в поверхностном слое колебался в пределах 0,4–1,5 мг/л. Минимальная прозрачность вод была отмечена также к югу от Керченского полуострова, где наблюдались воды пониженной солёности. Принципиальным отличием от весенней съемки является то, что эти низкосолёные и мутные воды имели не азовское происхождение, а поступали на акваторию съемки от берегов Кавказа. Эти воды, подхваченные основной струей Основного черноморского течения, следовали вдоль материкового склона на запад и достигали долготы Гераклейского полуострова. Минимальное цветение наблюдалось в районе мыса Тарханкут. Здесь значения концентраций $C_{\text{ОВВ}}$ варьировали в диапазоне 0,3–0,4 мг/л, который является типичными для данного сезона года.

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПОДВОДНОЙ ОБЛУЧЕННОСТИ НА СЕВЕРО- ЗАПАДНОМ ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД

Латушкин А.А., Суслин В.В., Мартынов О.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
sevsalat@gmail.com*

Ключевые слова: подводная облученность, диффузный показатель ослабления света, коэффициент восходящей яркости, фотическая зона, Черное море.

В настоящей работе представлен совместный анализ натуральных измерений подводной облученности, выполненных на северо-западе Черного моря в весенний период 2017 г. (22.04.2017 – 6.05.2017) со спутниковыми данными.

Измерения подводной облученности (K_d) проводились на станциях в дневное время суток измерителем, разработанным в отделе оптики и биофизики моря МГИ РАН. В качестве спутниковых измерений использовались спутниковые стандартные данные второго уровня показателя вертикального ослабления света на длине волны 490 нм и спектр коэффициента яркости моря R_{RS} , рассчитанные по результатам измерений прибором MODIS со спутника Aqua. В работе использовалась текущая версия данных R2018.0. Окрестность выборки спутниковых данных вокруг каждой станции составляла 0,0125 град по широте и 0,0175 град по долготе. Спутниковые измерения брались для того же дня, когда были выполнены натурные измерения. Используя спектр R_{RS} , вычислялись показатель поглощения света неживым органическим веществом и фитопланктоном на длине волны 490 нм и показатель обратного рассеяния света на длине волны 555 нм. Используя спектр R_{RS} , вычислялись показатель поглощения света неживым органическим веществом и фитопланктоном на длине волны 490 нм и показатель обратного рассеяния света на длине волны 555 нм. Моделирование эмпирических спектров проводи-

лось по двум методикам (стандартный продукт NASA и алгоритмы МГИ). Первая методика предполагает простейшую модель описания K_d , в которой основным фактором является неживое органическое вещество. Вторая методика предполагала описание всех оптически активных компонент, а именно: показателей поглощения неживым органическим веществом и фитопланктоном на длине волны 490 нм и показателя обратного рассеяния света на длине волны 555 нм, восстановленных по данным спутниковых измерений. Цель моделирования состояла в том, чтобы, наилучшим образом моделируя эмпирический спектр K_d , оценить такие константы как C и S в уравнениях.

В результате анализа данных получено, что в период проведения исследований главным определяющим фактором в спектральном распределении K_d является поглощение неживым органическим веществом, что вполне укладывается в представления об оптических свойствах вод Чёрного моря, а влияние обратного рассеяния слабо выражено.

Спектральное поведение K_d имеет заметный «излом» на глубине приблизительно 10 м в диапазоне длин волн 490 до 555 нм. В то время как в коротковолновой и длинноволновой частях спектра этот «излом» либо отсутствует, либо слабо заметен. «Излом», как мы полагаем, связан с профилем поглощения фитопланктоном (возможно детритом).

Учитывая, что спутник «видит» только первую оптическую толщину, а она разная для разных спектральных каналов, основной вклад в спутниковый сигнал вносит более прозрачный верхний слой воды. Это значит, что «излом», который расщепляет эмпирический спектр K_d в средней части видимого диапазона, описывается скачком поглощения фитопланктона. Это происходит потому, что вариация поглощения фитопланктона существенно меньше по сравнению с поглощением неживого органического вещества в коротковолновой части спектра и с поглощением чистой водой в длинноволновой части спектра. В целом обе модели (стандартный продукт NASA и алгоритмы МГИ) достаточно хорошо описывают спектр K_d на анализируемых станциях.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДРЕЙФУЮЩИХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ARGO 2001–2018 ГГ.

Лебедев К.В.

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

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

Измерения с помощью дрейфующих автономных всплывающих буев Argo с 2005 г. 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 2018 гг., превысило полтора миллиона. Это позволяет получить разумные оценки климатического состояния Мирового океана последних 15 лет и дать оценку текущим внутриклиматическим трендам.

В работе приведены примеры расчетов, сделанных с использованием Argo-Модели Исследования Глобального Океана (АМИГО), и представлены результаты ведущихся в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН) работ по созданию новых, ориентированных на конечных пользователей массивов АМИГО, основанных на измерениях Argo и данных спутниковой альтиметрии, которые используются для контроля решения при выборе параметров модели. Массивы АМИГО обеспечат научное сообщество оперативным доступом к глобальным унифицированным базам данных, полученным по измеренным профилям и траекториям поплавков Argo с привлечением дополнительных данных, сделанных с помощью спутников. Главной отличительной особенностью представленной методики является использование при обработке профилей Argo метода вариацион-

ной интерполяции измерений на регулярную сетку с последующей модельной гидродинамической адаптацией полученных полей. Такая методика позволяет получать по данным профилирования Арго полный набор океанографических характеристик: температуру, соленость, плотность и скорость течений. Выполненные расчеты (Лебедев, 2016) охватывают в настоящее время 15-летний период с 2004 по 2018 гг. и представлены ежемесячными, сезонными, годовыми и среднеклиматическими полями. База данных АМИГО находится в свободном доступе в сети Интернет на официальном сервере ИО РАН по адресу <http://argo.ocean.ru/>. Пространственное разрешение данных в базе составляет 1 градус по долготе и широте, временное – 1 месяц.

Использование Арго-модели АМИГО позволило, с одной стороны, систематизировать случайные наблюдения свободно дрейфующих поплавков Арго с помощью вариационной методики интерполяции наблюдений на регулярную одноградусную сетку, а, с другой стороны, на этой основе произвести сложные расчеты изменчивости расходов и переносов тепла и соли течениями при крупномасштабном водообмене.

В результате расчетов по Арго-модели получились следующие средние значения межокеанского водообмена: перенос из Тихого океана в Индийский составил $15,4 \pm 3$ Св, водообмен Тихого океана с Арктикой – $0,63 \pm 0,57$ Св. Полученные величины хорошо согласуются с известными оценками, полученными на основании прямых многолетних измерений.

В работе показано, что Арго-модель, несмотря на одноградусное разрешение, корректно описывает поступление арктической воды в море Лабрадор через Девисов пролив ($1,46 \pm 0,29$ Св) и средиземноморских вод в Атлантический океан через Гибралтарский пролив ($1,1 \pm 0,2$ Св). Полученные величины средних расходов в проливах Дейвиса и Гибралтар получились достаточно близкими измеренным среднемноголетним значениям.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-05-80089.

ОПАСНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В РАЙОНЕ БЕРЕГОВОЙ СТАНЦИИ ОПАСНОЕ ЗА ПЕРИОД 2003–2013 ГГ.

Лемешко Е.Е., Полозок А.А.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
e.lemeshko@mhi-ras.ru*

Ключевые слова: сгоны, нагоны, штормовые ситуации, уровень моря, измерения уровня.

Характеристика опасных и особо опасных гидрологических процессов на береговых станциях Азовского моря не теряет свою актуальность. Подобный анализ, проведенный ранее, наглядно демонстрирует, за какими прибрежными районами необходимо наблюдать наиболее пристально.

Ключевым критерием для отнесения гидрологических ситуаций к опасным является спад уровня моря ниже (подъем выше) критических отметок, которые устанавливаются индивидуально для каждой береговой станции. При описании гидрологического явления указываются скорость, направление ветра, длительность штормовой гидрологической ситуации.

Для выявления опасных гидрологических процессов в районе морской гидрологической станции Опасное использованы журналы наблюдений за период 2003–2013 гг. Критические отметки уровня моря, приведенные к 0 поста, до 2006 г. были, соответственно, равны 440 см для штормовых сгонов и 535 см для штормовых нагонов. С апреля 2006 г. соответствующие значения устанавливались на уровне 540 см для нагонов и 440 см для сгонов. С июня 2010 г. штормовым нагоном являлся нагон с отметкой уровня более 535 см, а опасным сгоном – понижение уровня моря ниже 415 см.

В 2003–2006 гг. наблюдалось 7 штормовых ситуаций: 6 штормовых сгонов, 1 штормовой нагон. Существенные отклонения фактических значений уровня от установленных критических отметок в этот период не фиксировались ни разу. Минимальный уровень за 2003–2006 гг. отмечен 05.10.2003 г. и составил 436 см.

15.05.2004 г. отмечен штормовой нагон, при котором уровень моря повысился до 535 см. В течение указанных 4 лет штормовые сгоны провоцировали ветра южного направления, в том числе 2 раза – Ю ветер со скоростью 5–6 м/с, 2 раза – ЮЗ ветер со скоростью 8–11 м/с, 1 раз – ЮЮВ ветер со скоростью 9 м/с, 1 раз – ЮЮЗ ветер со скоростью 10 м/с. К штормовому нагону привел устойчивый ветер СВ направления со скоростью 12 м/с.

В период 2007–2010 гг. зафиксировано 8 штормовых ситуаций. Значительный спад уровня при ЮЮЗ ветре со скоростью 14 м/с зарегистрирован 29–30 января 2007 г.: вечером 29 января 2007 г. уровень упал ниже критической отметки на 20 см. Особо опасный штормовой сгон, при котором уровень понизился до 380 см, произошел 11.11.2007 г. При замере дул западный ветер со скоростью 3 м/с. За период 2007–2010 гг. значительный подъем уровня имел место только 29.05.2008 г. Фактический уровень превысил установленную критическую отметку на 16 см. Спровоцировал штормовую ситуацию СВ ветер со скоростью 6–10 м/с.

В период 2011–2013 гг. наблюдалось 2 случая значительного повышения уровня. Подъем уровня моря до 545 см зафиксирован 8.04.2013 г. при С ветре 8 м/с и 16.04.2013 г. при СВ ветре 12–13 м/с. Всего за указанный период произошло 6 штормовых ситуаций: 4 штормовых нагона и 2 штормовых сгона.

Таким образом, в 2003–2013 гг. в районе МГС Опасное неоднократно регистрировались случаи опасных штормовых сгонно-нагонных явлений. Существенные подъемы уровня наблюдались при ветрах С, СВ направления и при измеренной скорости ветра более 7 м/с. Штормовые сгоны вызывали ветра Ю, ЮЗ, ЮЮВ, ЮЮЗ направлений при скорости ветра больше 6 м/с.

БАНК ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА

Липченко А.Е.¹, Дьяков Н.Н.¹, Коршенко А.Н.²,
Левицкая О.В.¹, Шibaева С.А.¹

¹СО ГОИН, г. Севастополь, Россия

²ГОИН, г. Москва, Россия

sogoin@mail.ru

Ключевые слова: Банк океанографических данных, Керченский пролив, гидрологические станции.

На основе накопленных и систематизированных материалов наблюдений береговой сети гидрометеорологических станций и постов, морских экспедиционных исследований за более чем вековой период в Севастопольском отделении ФГБУ «ГОИН» создан новый региональный океанографический банк данных Керченского пролива, наиболее обеспеченный в настоящее время результатами экспедиционных и прибрежных наблюдений.

Банк данных состоит из следующих блоков:

- экспедиционных и рейдовых гидрологических, метеорологических и гидрохимических наблюдений в Керченском проливе;
- комплекса регулярных прибрежных наблюдений на морских гидрометеорологических станциях и постах пролива;
- съемок ледового покрова моря дистанционными методами;
- наблюдений за течениями.

Массив экспедиционных и рейдовых наблюдений в Керченском проливе (за температурой и соленостью воды, гидрохимическими характеристиками) сформирован преимущественно на основе архивных данных СО ГОИН и включает около 19 тысяч гидрологических станций, выполненных за период 1891–2017 гг. Он содержит ежемесячные и ежедекадные наблюдения за обменом водой и веществом между Азовским и Черным морями через северную узость Керченского пролива (порт Крым – порт Кавказ) за период 1956–2017 гг. (всего выполнено ~ 800 разрезов).

Основу банка данных наблюдений за течениями в Керченском проливе составляют непрерывные наблюдения, выполненные на

автономных буйковых станциях (АБС) и измерения течений, произведенные во время экспедиционных и рейдовых работ с помощью вертушек ВММ. К настоящему времени банк содержит 1081 временную реализацию направлений и скоростей течений, измеренных посредством АБС в Керченском проливе. Дискретность отсчетов рядов наблюдений изменялась от 5 до 60 мин, продолжительность серий – от 3 часов до 28 суток. Общее количество гидрологических станций с измерениями направления и скорости течений вертушками ВММ составило ~ 6,8 тысяч.

Массив прибрежных гидрометеорологических наблюдений содержит информацию, полученную на основе комплекса регулярных гидрометеорологических исследований на 4 морских станциях и постах, расположенных на побережье Керченского пролива. Он включает в себя срочные наблюдения (с дискретностью по времени 6 часов) за уровнем моря, температурой воздуха и воды, ледовыми условиями, соленостью воды, ветром и ветровым волнением, облачностью, атмосферным давлением и осадками, абсолютной влажностью воздуха, а также данные среднемесячных характеристик. Наиболее продолжительные ряды данных (температура воздуха, осадки, ледовые условия) в пункте Керчь (действует с 1873 г.)

Банк данных наблюдений за ледовыми условиями в Керченском проливе содержит: данные авиационных разведок и спутниковую информацию; судовые наблюдения.

Сведения экспедиционных и прибрежных наблюдений банка данных являлись информационной основой для создания ряда атласов, режимно-справочных пособий, использовались для гидрометеорологического обеспечения строительства Крымского мостового перехода.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВОЛН В ОКРАИННЫХ МОРЯХ

Макаров К.Н.

*СГУ, г. Сочи, Россия
ktk99@mail.ru*

Ключевые слова: атмосферное давление, прогноз, ветровое поле, параметры волн, прибрежная зона, волны зыби.

Разработан программный комплекс для расчета параметров волн в окраинных морях. Расчет может быть выполнен как для прогнозирования волновых полей с заблаговременностью до 8 суток, так и для определения проектных параметров волн в штормах заданной обеспеченности для строительного проектирования.

Методика расчета полностью соответствует Российским нормативным документам с учетом переменной по величине и направлению скорости ветра.

В качестве исходных данных задаются:

– цифровая модель водоема (море, водохранилище) в виде прямоугольной сетки с глубинами в ее узлах и элементами ситуации – контур береговой линии, сооружения;

– цифровые модели расчетных участков прибрежной зоны (районы расположения портов или проектных участков строительства гидротехнических сооружений);

– атмосферное давление в узлах сетки на высоте 1 км – текущее (на данный момент времени) и прогнозируемые поля давления (до 8 суток) с дискретностью до 1 часа. Предусмотрена интерполяция полей давления в промежуточные шаги по времени. В качестве расчетных могут задаваться поля давления редкой повторяемости (например, возможные 1 раз за 50 лет) для каждого волноопасного направления – для определения элементов волн при проектировании гидротехнических сооружений. В последнем случае повторяемость расчетных полей ветра и волнения принимается равной повторяемости поля давления.

Для калибровки используемых математических моделей по данным натурных наблюдений предусмотрена возможность варьирования специальными калибровочными коэффициентами, которые введены в расчетные формулы для высот и периодов волн.

В результате выполнения расчетов в программном комплексе выдаются:

1. поля ветра над морем, соответствующие текущему и прогнозируемым полям атмосферного давления или расчетным полям давления редкой повторяемости;

2. поля высот (5% обеспеченности в системе), периодов, длин и направлений распространения волн для текущего и прогнозируемых полей давления и ветра по всей акватории моря. В расчетах учитывается возможность образования волн зыби;

3. элементы волн в прибрежной зоне (направление, средние высоты волн, высоты волн 1%, 5% обеспеченности в системе, средние периоды и длины волн), включая прибойную зону, для каждого заданного участка в любой момент времени. Предусмотрен расчет до четырех обрушений волн.

Программный комплекс апробирован в Сочинском Центре по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Черного и Азовского морей Росгидромета для прогнозирования волнения в Черном море, а также при проектировании ряда объектов морской гидротехники на побережьях Черного и Балтийского морей.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЗОМАСШТАБНЫХ И СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССОВ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Медведева А.В., Станичный С.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
Shift@mail.ua*

Ключевые слова: мезомасштабные процессы, субмезомасштабные процессы, спутниковые снимки, внутренние волны, дистанционное зондирование.

Регулярные спутниковые данные высокого пространственного разрешения позволяют в настоящее время проводить исследования мезомасштабных, субмезомасштабных и мелкомасштабных явлений, играющих важную роль в процессах переноса и формирования гидрологической структуры в прибрежных районах. Для идентификации такого рода явлений можно использовать характеристики всходящего излучения воды и отражённую компоненту излучения в оптическом диапазоне, а также тепловые (температурные) поля в ИК диапазоне. Формируют пространственные неоднородности параметры: гидрозоли, шероховатость поверхности, ледяной покров, загрязнения и т.д.

По данным дистанционного зондирования регистрируется пространственное положение явления/объекта, его размеры, динамика развития, температурные характеристики и др.

В последние несколько лет (начиная с 2015–2016 гг.) стала возможной оценка мезомасштабных и субмезомасштабных явлений по последовательным спутниковым снимкам одного района с малым временным интервалом (от единиц до десятков минут). Совмещение оптических снимков высокого разрешения от зарубежных (Sentinel-2, Landsat 7 и 8) и/или российских (Ресурс-П) спутников позволяет выявить пространственные сдвиги регистрируемых неоднородностей и вычислить скорости перемещения. Так, в частности, в период с 2015 по 2017 гг. для прибрежных районов Гераклейского полуострова было выбрано 9 пар изображений высокого разрешения, на которых произведена оценка

векторов скоростей для ряда пространственных особенностей (цугов внутренних волн, вихревых структур, струй и т. д.). Смещение цугов внутренних волн в зависимости от интервала съемки и иных параметров составляло от 300 до 900 м, а диапазон выявленных скоростей изменялся в пределах от 0,3 до 0,9 м/с.

На спутниковых снимках высокого разрешения в оптическом диапазоне выявлены цуги внутренних волн в прибрежных водах Гераклейского полуострова, отмечены пространственные характеристики (размеры, положение), указаны предполагаемые районы генерации, рассмотрена зависимость от явлений, характеризующихся изменчивостью плотностной стратификации (апвеллинги, мезомасштабные вихревые структуры).

Исследование внутренних волн по данным дистанционного зондирования осуществляется при поддержке гранта РФФИ «Характеристики внутренних волн в районе Гераклейского полуострова: проявление, моделирование, влияние на экосистему».

ВЕРТИКАЛЬНАЯ СТРУКТУРА СДВИГОВ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ В ОСНОВНОМ ПИКНОКЛИНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 2016 Г.

**Морозов А.Н., Кузнецов А.С., Маньковская Е.В.,
Вержевская Л.В., Щербаченко С.В.**

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

Ключевые слова: вертикальный сдвиг скорости течения, частота плавучести, внутренние волны, LADCP, STD-зонд.

В докладе обсуждаются характерные черты осредненной вертикальной структуры вертикальных сдвигов скорости течения на основе анализа LADCP/STD данных, собранных в трех экспедициях НИС «Профессор Водяницкий» (1 – 87-й рейс 30.06–18.07, 2 – 89-й рейс 30.09–20.10, 3 – 91-й рейс 16.11–05.12), проходивших в северной части Черного моря в 2016 г. В слое основного

пикноклина в окрестности максимума частоты плавучести отмечается максимум среднего профиля сдвигов. Профиль отношения квадрата сдвига к квадрату частоты плавучести проявляет почти монотонное возрастание с глубиной от 0,1 до 0,4 в слое 50–350 м, что на качественном уровне показывает относительное усиление процессов вертикального турбулентного перемешивания в нижней части основного пикноклина. Приводятся средние профили угла поворота вектора сдвига относительно его направления на горизонте 15 м. Для всех экспедиций вектор сдвига вращается по часовой стрелке и совершает около двух оборотов в слое измерений. Выявленное вращение вектора сдвига объясняется влиянием внутренних волн с частотой близкой к инерционной, распространяющихся в толщу вод. Рассмотрен пример расчета параметров такой волны по сдвигу скорости течения и деформации на основе данных одной из станций.

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам № 0827-2018-0002 и № 0827-2018-0004.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЧЕРНОМ МОРЕ В 2017 Г.

Мыслина М.А., Вареник А.В., Орехова Н.А.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
569455@mail.ru*

Ключевые слова: биогенные элементы, Черное море.

Черное море является одним из самых больших внутренних морей. Оно играет значительную роль в региональной экономике прибрежных государств как источник рыболовства, морского туризма, добычи нефти и т.д. Во второй половине 20 века Черное море испытывало повышенную антропогенную нагрузку на экосистему, что проявлялось, в том числе, и в значительном увеличении поступающих биогенных элементов. Связанная с этим

проблема эвтрофикации была признана одной из ключевых проблем Черного моря.

Для изучения пространственно-временного распределения биогенных элементов в Черном море были использованы данные рейсов 94–101 НИС «Профессор Водяницкий», выполнявшихся в 2017 г. Основным районом гидрохимических работ являлся крымский сектор экономической зоны России, в том числе глубоководная часть. Лабораторный анализ проб морской воды на содержание в них неорганических форм азота, фосфора и кремния был осуществлен стандартными методами гидрохимического анализа. Анализ на содержание нитрит-ионов и ионов аммония выполнялся на борту судна.

В результате исследований было установлено, что концентрация аммонийного азота изменялась от 0 до 1,6 мкМ, нитритов – от 0 до 0,28 мкМ, суммы нитратов и нитритов – от 0 до 5,5 мкМ. Максимальные концентрации всех биогенных элементов наблюдались в зимний период года, что определяется процессами интенсивного вертикального перемешивания и снижением активности фитопланктона. Весеннее развитие фитопланктона приводит к более активному потреблению биогенных элементов, что способствовало снижению их концентраций к лету (июнь). Еще одним фактором, определяющим минимальное содержание всех биогенных элементов в поверхностном слое моря в летний период, является плотностная стратификация, затрудняющая поступление более холодных насыщенных биогенами вод с глубин.

Максимальные концентрации нитритов преимущественно были характерны для прибрежной части Крымского полуострова, что обусловлено их поступлением от береговых источников.

В летний период (август) повышенные концентрации нитратов были достаточно равномерно распределены и приурочены к шельфовым районам. В холодный период года более высокие концентрации нитратов наблюдались в глубоководной части моря, что может определяться процессами вертикального перемешивания вод и течениями.

Концентрация фосфатов изменялась в пределах от 0 до 0,35 мкМ. Максимальные величины (0,15–0,35 мкМ) были определены в весенний период в прибрежной части, минимальные – в

летний период, что также связано с поглощением фитопланктона в процессе фотосинтеза.

Концентрация кремния изменялась от 0 до 10 мкМ. Максимальные значения были зафиксированы в весенний период как в прибрежной, так и в глубоководной части. Такое распределение кремния может быть следствием глубинного подъема вод или вегетации диатомовых водорослей. Пониженное его содержание наблюдалось в осенний период (ноябрь).

При изучении пространственно-временного распределения биогенных элементов установлено, что сезонный ход их концентрации характеризуется увеличением содержания биогенных элементов в зимний период преимущественно в прибрежной части, а также уменьшением в весенний, что объясняется физико-химическими и продукционными процессами, происходящими в море.

Работа выполнена в рамках темы гос. задания ФГБУН МГИ № 0827-2018-0003 «Океанологические процессы».

ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ GRACE ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ВОДНОГО БАЛАНСА ЧЕРНОГО МОРЯ

Новицкая В.П., Лемешко Е.М.

*ЧГП РАН, н.г.м. Кацивели, Россия
doronina.viktori@mail.ru*

Ключевые слова: GRACE, спутниковая альтиметрия, климат, водный баланс, уровень моря, аномалии водных масс, Черное море, Каспийское море.

Gravity Recovery And Climate Experiment – GRACE – исследовательский зонд, запущенный в рамках спутниковой миссии, направленной на изучение гравитационного поля Земли и его временных вариаций, связанных, с процессами изменения климата.

Данные GRACE представляют важную роль для гидрологии. Они позволяют дать качественную оценку пространственно-временных вариаций водных запасов, водного баланса внутренних морей и бассейнов крупных рек, а также дают возможность произвести оценку для отдельно выбранного региона.

Для оценивания корректности данных, полученных GRACE, им были сопоставлены данные об уровне моря, полученные с помощью спутниковой альтиметрии.

Главная цель работы – показать, что анализ данных и непосредственно оценка технологии GRACE в сравнительном анализе с другими видами спутниковых измерений проявляют хорошую согласованность и они могут быть использованы для оценивания изменений водных ресурсов дренажных бассейнов крупных рек и внутренних морей.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 007-00111-18-00.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В ПРОЛИВЕ ФРАМА

Петренко Л.А., Козлов И.Е.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
larcpetr@gmail.com*

Ключевые слова: пролив Фрама, архипелаг Шпицберген, мезо- и субмезомасштабные вихри, кромка льда, время «жизни» вихря, скорость смещения вихря.

Район исследований представляет собой область сложного взаимодействия выносимого Восточно-Гренландским течением из Арктического бассейна тающего льда и холодных распресненных вод с теплыми и солеными атлантическими водами Западно-Шпицбергенского течения, приводящего в результате к активному вихреобразованию. На основе анализа радиолокационных изображений исследовано пространственно-временное распределение вихревых образований в проливе Фрама и в прибрежной

зоне архипелага Шпицберген в 2007 г. Рассмотрено влияния ветра на процесс генерации вихревых структур в прибрежной зоне и у кромки дрейфующих льдов. Оценено относительное время «жизни» отдельных вихрей и скорость их смещения.

Работа выполнена по теме государственного задания № 0827-2018-0002.

РАЙОНИРОВАНИЕ И СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ НАПРЯЖЕНИЯ ТРЕНИЯ ВЕТРА И ЕГО ЗАВИХРЕННОСТИ НАД ЧЕРНЫМ МОРЕМ

Погребной А.Е.

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

Ключевые слова: Черное море, напряжение трения ветра, завихренность ветрового напряжения.

Для анализа влияния ветрового воздействия на поверхность Черного моря использовались данные о скорости ветра на высоте 10 м над его уровнем за период 1980–2011 гг. (32 года), предоставленные Системой управления океанографической информацией PERSEUS. Пространственное разрешение составляло $14 \times 14 \text{ км}^2$, дискретность по времени – 1 сут.

Исходные данные интерполировались на равномерную (широта-долгота) градусную сетку с разрешением $0,125^\circ \times 0,125^\circ$. В этих узлах сетки для каждого временного отсчета рассчитывались значения компонент ветрового напряжения и его завихренности. Полученные значения затем усреднялись по каждому календарному месяцу с сохранением пространственного разрешения. Анализ демонстрирует, что карты пространственной изменчивости параметров ветрового воздействия, соответствующие одинаковым месяцам, но в разные года, отличаются друг от друга. Устойчивая пространственная структура сезонных карт

начинает проявляться при дополнительном ежемесячном осреднении (~ 5 лет). Поэтому использовались обобщенные оценки за весь расчетный период.

Подтверждается ранее известный факт того, что в зимние месяцы над акваторией Черного моря устанавливается крупномасштабная циклоническая циркуляция. Летом над западной частью моря знак циркуляции меняется на антициклонический, а на востоке моря циркуляция, оставаясь циклонической, существенно ослабевает. Благодаря высокому пространственному разрешению используемых данных обнаруживается, что в прибрежных районах моря структура циркуляции (в том числе ее знак и абсолютные значения) может существенно отличаться от ее поведения в примыкающих областях открытого моря. Знак циркуляции определяет направление вертикальной скорости на нижней границе экмановского слоя. Поэтому районирование акватории моря с выделением участков противоположной завихренности позволит уточнить представление о структуре циркуляционных потоков в Черном море.

Процедура автоматической кластеризации на основе знаковых различий значений завихренности ветрового напряжения помимо двух основных областей открытого моря (западной и восточной) выделила шесть дополнительных прибрежных зон (у южного и западного берега Крыма, у берегов Кавказа и Европы, вдоль восточного и западного берегов Турции).

Для выделенных зон построены ежемесячные распределения плотности вероятностей значений завихренности напряжения трения ветра, а также двумерные плотности вероятности самих векторов ветрового напряжения.

У восточного побережья Турции в течение всего года вода опускается, а у западного, кроме декабря и января, наблюдается подъем вод. Вдоль берегов Кавказа имеет место даунвеллинг с октября по май, а у европейского побережья циклоническая завихренность отмечается только с мая по июль. Около ЮБК даунвеллинг имеет место с февраля по апрель и с сентября по ноябрь, а у западного берега Крыма в течение всего года отмечается подъем вод.

Максимум циклонической активности в западной части открытого моря достигается в марте ($\text{rot}_z \tau > 20 \cdot 10^{-8}$ Па/м), уменьшаясь в мае-июле до $4 \cdot 10^{-8}$ Па/м. В восточной области моря максимальное значение циклонической завихренности напряжения трения ветра ($10 \cdot 10^{-8}$ Па/м) обнаруживается в декабре, с середины мая до конца сентября завихренность остается антициклонической до $-5 \cdot 10^{-8}$ Па/м.

Также представлена сезонная изменчивость средней по морю толщины экмановского слоя. Она меняется от ~ 15 м в осенне-зимние месяцы до нескольких метров в мае.

РАЗЛИЧИЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ ВОД В ХАРАКТЕРНЫХ РАЙОНАХ ЧЁРНОГО МОРЯ

Прохоренко Ю.А.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
Prohorenok08@mail.ru.*

Ключевые слова: однородные выборки, многообразие межсезонного хода, пространственно-временные границы поля.

Накопленный многолетний архив данных наблюдений по относительной прозрачности вод (Z_d), не является однородным и полным. Поэтому может служить инструментом изучения и оценок поля Z_d только после определения его собственных свойств.

Для изучения изменчивости поля Z_d из архива выбраны годы, в которых собраны данные наблюдений во все сезоны года. Кривые осреднённого годового хода (ОГХ) Z_d из районов по всем однородным выборкам подобны друг другу, поэтому оценки изменчивости общих особенностей в районах моря можно считать характерными.

Обычно межсезонный ход Z_d каждого года содержит в сезонах минимум и максимум, как 2 экстремальных сезонных значения, которые могут встречаться почти во всех сезонах. Выполнена

оценка многообразия положения 2-х экстремумов в ОГХ. Из 4-х сезонов по 2 экстремальных в году возможно 12 сочетаний сезонов с минимумом и максимумом. В 6-ти сочетаниях, по 1–3 года наблюдений из каждого района, содержится 26 лет. В 4-х из 6-ти остальных оказалось только 6 лет, а в 2-х наблюдениях не оказалось. Все наблюдения ПСЗ разместились в 9 сочетаниях сезонов ОГХ, а для ГК хватило семи.

В трёх годах из придунайского северо-западного шельфового района (ПСЗ) и в одном – из района глубоководной котловины (ГК) отмечен межсезонный ход с экстремальными значениями Z_d в трёх сезонах (в 2-х – с экстремальными значениями одного вида и в одном – второго вида).

В большей степени многообразие межсезонного хода свойственно шельфу.

Для изучения изменчивости поля, использованы однородные выборки. В них собраны только годы с полными последовательностями сезонных оценок. Кривые (ОГХ) Z_d из районов по всем однородным выборкам подобны друг другу, поэтому оценки изменчивости общих особенностей в районах моря можно признать характерными для поля Z_d .

При изучении условий формирования межсезонной изменчивости годового распределения экстремальных сезонов в обоих районах использованы формализованные межсезонные кривые по каждому году всех однородных выборок. Для этого составлены таблицы сезонного распределения количества экстремумов каждого знака во всех годах однородных выборок. По ним в сезонах определены положения, знак и количество преобладающих экстремумов. Построенные по ним кривые близки по структуре к ОГХ. Такие формализованные кривые более чувствительны к отражению особенностей изменчивости поля Z_d в районных выборках, например, на положение границ смены сезонов.

Изучение таких формализованных кривых, показало, что сроки прихода сезонов в районах могут быть разными. В ГК они близки к выбранным по гидрологическим признакам, а на шельфе, в ПСЗ, время их прихода обычно задерживается.

С применением более однородных, но сокращённых выборок, определены основные особенности изменчивости поля Z_d . Изучены элементы многообразия межсезонного хода Z_d , как результат влияния климатических процессов.

Многообразии межсезонного хода Z_d в массивах данных архива и многофакторность её формирования в море, ограничивает возможности заполнения пропусков наблюдений Z_d рассчитанными значениями, согласно корреляционным зависимостям, полученным в другие сезоны или годы, с полем другой природы.

АНАЛИЗ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СУТОЧНОГО ХОДА ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ СКАНЕРА SEVIRI

Рубакина В.А., Кубряков А.А., Станичный С.В.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
valenru93@mail.ru*

Ключевые слова: температура поверхности моря, SEVIRI, амплитуда суточного хода, дневной прогрев.

Температура поверхностного слоя моря (ТПМ) является важнейшей характеристикой, которая оказывает большое влияние на климат и функционирование экосистемы планеты. В представленной работе впервые проводится исследование суточной динамики хода ТПМ Черного моря в различные сезоны по данным сканера SEVIRI и её пространственных особенностей. На основе высокочастотных измерений радиометра SEVIRI с дискретностью 1 ч исследовались особенности пространственной и сезонной изменчивости суточного хода ТПМ и её связь с ветровыми характеристиками.

Наибольшие суточные отклонения ТПМ от среднесезонных значений наблюдаются в весенне-летний период (с апреля по июль), наименьшие – в осенне-зимний период (ноябрь-март). Максимальные (по модулю) значения аномалий: $0,82^{\circ}\text{C}$ – в сторону увеличения температуры и $0,77^{\circ}\text{C}$ – в сторону уменьшения.

Минимальные аномалии наблюдаются с середины ноября по март и не превышают (по модулю) $0,1-0,2^{\circ}\text{C}$. В течении суток прогрев верхнего слоя в среднем наблюдается с 6 часов утра до 17 часов дня, а охлаждение с 19 часов вечера до 5 часов утра.

Выделен и проанализирован ряд случаев интенсивного дневного прогрева. Показано, что в отдельных случаях амплитуда суточного хода ТПМ превышала 5°C и достигала экстремально высоких значений – $7-7,2^{\circ}\text{C}$. Развитию дневного прогрева способствовали штилевые условия, при которых скорость ветра не превышала 4 м/с на протяжении суток и более над основной частью акватории Черного моря. Наиболее часто интенсивный дневной прогрев наблюдался в мае, когда скорость ветра была минимальной.

Исследована сезонная изменчивость амплитуды суточного хода ТПМ (A). С января по апрель наблюдается ее плавное возрастание, зимой значения A минимальны и не превышают $1,5^{\circ}\text{C}$. С апреля происходит ее резкое увеличение до максимального значения $2,4^{\circ}\text{C}$ в мае, после чего она плавно снижается. Летом A принимает значения $1,7-2^{\circ}\text{C}$. Осенью происходит дальнейшее снижение A с $1,85^{\circ}\text{C}$ – в сентябре до $1,45^{\circ}\text{C}$ – в ноябре. Наибольший перепад ТПМ наблюдается в юго-восточном районе, а также в прибрежной части юго-западного района Черного моря. Наименьшие значения A присущи центральной и западной части Черного моря. Повышенные значения амплитуды суточного хода располагаются в зонах ветровой тени, которую формируют Кавказские и Понтийские горы. Западная и северная части моря, в свою очередь, подвержены действию интенсивных северо-восточных и северных ветров, что приводит к уменьшению штилевых условий и суточного хода ТПМ.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФЛЮОРИМЕТРА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Савоськин В.М.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
sv78@mail.ru*

Ключевые слова: биопланктон, пресная вода, биофлюорисценция, флюориметр, мыс Айя, прибрежные течения.

Известно, что в распреснённой морской воде количество планктона резко увеличивается. Ярким подтверждением этого являются известные сведения из жизни китов. Когда подходит время рожать, самка совершает длительное путешествие в сторону тропиков и производит потомство в теплой воде южных морей, при этом сильно теряя в своем весе. После появления малыша она совершает путешествие в обратном направлении к пищевым запасам, где таяние льдов делает воду в океане менее солёной по сравнению с водой в тропиках.

Неоднократно проходя морем от Балаклавы к мысу Айя и оказываясь у скальной стенки в темное время, автор обратил внимание на увеличение интенсивности свечения, излучаемого морем от носа каяка, в известных ему местах выхода пресной воды по сравнению с другими прибрежными участками.

Известно, что мощность излучения света зависит от наличия в море определенных видов планктона и от его концентрации. Это явление получило название биофлюорисценции. Сила света, излучаемого морем, определяется флюориметром и зависит от попавшего в камеру фитопланктона и от его возбуждения.

Использование флюориметра для определения интенсивности света от самого моря позволяет в любое время суток проводить измерения. Это существенно упрощает задачу по выявлению корреляции между координатами известных из предыдущих исследований мест выхода пресной воды и центров областей с увеличенной интенсивностью свечения моря.

Акватория моря в районе гротов у скал мыса Айя хорошо подходит в качестве выбора полигона для проведения подобных исследований. Наличие мест выхода пресной воды в этом районе подтверждено.

Этот участок хорошо изучен в многочисленных экспедициях, проведенных ранее сотрудниками Морского гидрофизического института. Вместе с координатами источников выхода пресной воды, определялся их бюджет и глубина залегания «факела».

Наблюдения за течениями в предлагаемом районе у мыса Айя убедительно свидетельствуют о смене их направлений, как у поверхности, так и на глубине, происходящих при изменении направления приводного ветра. Это свидетельствует о неустойчивом характере течений и вызываемых ими волн. В течении суток, даже при отсутствии глобального ветра, происходит смена направления местных ветров из-за различной скорости прогрева и остывания скал и моря.

Явления морского бриза хорошо изучены для прилегающих к морю равнинных районов. А для участков побережья, где скалы подступают вплотную к воде изучены не так хорошо.

При определении положения мест выхода пресной воды с помощью флюориметра важно знать направления и скорости прибрежных течений на различных горизонтах в момент проведения измерений. «Факелы», через которые пресная вода поступает в море, могут находиться на различных глубинах. Поэтому однократная буксировка флюориметра по поверхности моря не позволит определять точные координаты мест выхода пресной воды. Для получения желаемого результата необходимо выполнять серии буксировок и проводить статистическую обработку рядов с координатами центров областей, в которых интенсивность светимости моря по показаниям флюориметра увеличена.

СОХРАНЕНИЕ АРХИВНЫХ ДАННЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ЧГП РАН

Симонова Ю.В.¹, Дмитроца А.И.², Метик-Диунова В.В.¹

¹ЧГП РАН, пгт. Кацивели, Россия

²КрАО, пгт. Научный, Россия

julia.simonova.0502@gmail.com

Ключевые слова: база данных, данные наблюдений, гидрометеорологические параметры, информационные системы.

На Черноморском гидрофизическом полигоне (ЧГП) на береговом посту наблюдений с 1931 года накоплен большой объем информации по основным гидрометеорологическим характеристикам, таким как скорость и направления ветра, температура воздуха, атмосферное давление, относительная влажность, температура поверхности моря, уровень моря, параметры волнения, а также облачность и количество осадков.

Данные наблюдений, накопленные на бумажных носителях более чем за 70 лет, со временем и в результате частого использования приходят в неудовлетворительное состояние, и всё более остро встаёт вопрос о необходимости спасения исторической информации.

Архивные данные представлены в основном бумажными журналами наблюдений и лентами самописцев, что значительно усложняет оперативное использование этой информации. Поэтому на ЧГП постоянно ведутся работы по созданию и развитию информационных систем сбора, передачи, хранения, обмена, обработки, анализа и обеспечения пользователей океанографическими данными. При этом ценность и сохранность архивных данных очевидна при оценке и прогнозировании изменения климата.

Для сохранения архивных данных ЧГП, а также для анализа и обработки текущих данных наблюдений, создана и прошла первичное тестирование специализированная программа для работы

с базой данных (БД) гидрометеорологических параметров под рабочим названием «ГИДРОМЕТЕО». Программный комплекс разработан и реализован с использованием кроссплатформенных технологий. База данных реализована в формате SQLite. Этот широко распространенный формат позволяет реализовать автономный, безсерверный транзакционный механизм с полной поддержкой языка SQL.

Это программное обеспечение дает возможность импорта и редактирования данных в ручном режиме или загрузкой готового файла; сохранения данных; экспорта данных в табличном виде; построение графиков по одному, двум или трём параметрам одновременно с заданным временным интервалом.

В настоящее время БД включает данные ежедневных срочных наблюдений по основным гидрометеорологическим параметрам с 2010 года, и она постоянно пополняется путем обработки архивных и текущих данных.

Работа выполнена в рамках госзадания № 007-00111-18-00 (тема № 0835-2018-0002).

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЭВТРОФИРОВАНИЯ ВОСТОЧНОГО РАЙОНА СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ НА ОСНОВЕ ИНДЕКСА E-TRIX

Слепчук К.А.

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

Ключевые слова: Севастопольская бухта, уровень трофности, модель качества вод.

Севастопольская бухта является акваторией активного хозяйственного использования, фактически выполняет роль резервуара, в который поступают промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды, а также ливневые воды с площади водосбора. Ежедневно в бухту сбрасывается до 10–15 тыс. м³ неочищенных или условно-чистых вод, с которыми в акваторию

попадает широкий спектр загрязняющих веществ в концентрациях, значительно превышающих допустимые нормы. В зависимости от локализации источников загрязнения, морфометрии и гидрометеорологических условий, в Севастопольской бухте образуются как относительно «чистые» зоны, так и зоны устойчивого высокого уровня загрязнения.

Исследуемая часть бухты мелководна, ее средняя глубина составляет 4,7 м, а максимальная – 10,8 м. Загрязнение акватории происходит за счет выпуска сточных вод (без очистки) и аварийных выпусков в районе Нефтегавани, ТЭЦ и в устье реки Черная, где также имеются источники субмариной разгрузки. Речные воды содержат весьма значительные количества биогенных веществ. В водах, поступающих в бухту с речным стоком, максимальные концентрации биогенных элементов выше, чем в морской воде: аммония – в 5–7 раз, нитритов – в 1,5–2 раза, нитратов – в 1,6 раз, фосфатов в 7–9 раз.

Индекс трофности вод E-TRIX является интегральным комплексным показателем, связанным с характеристиками первичной продукции фитопланктона (содержание фотосинтетических пигментов, в основном, хлорофилла «а») и концентрацией биогенных веществ. Преимущество E-TRIX перед многими другими показателями, с помощью которых также можно оценить качество вод, заключается в том, что для расчетов применяются стандартные характеристики гидрохимического и гидробиологического мониторинга. Это позволяет корректно проводить сравнительный анализ экологического состояния вод различных морских акваторий по уровню их трофности.

Моделирование годового хода биогеохимических параметров восточной части Севастопольской бухты показало, что в среднем уровень эвтрофирования этого района ниже ($E-TRIX_{\text{среднее}} = 3,81$), чем в среднем по всей бухте ($E-TRIX_{\text{среднее}} = 3,86$). В целом, уровень трофности восточного района можно охарактеризовать как низкий, только с октября и почти до конца декабря качество вод хорошее со средним уровнем эвтрофирования. Минимум E-TRIX наблюдается в августе, максимум – в ноябре. Однако почти весь декабрь уровень трофности восточного района Севастопольской

бухты выше среднего по бухте, что объясняется высокими концентрациями минеральных форм азота и фосфора в данном районе. Концентрация хлорофилла «а» в декабре снижается. Поступающие биогенные элементы с речными и сточными водами фитопланктоном не потребляются, что ведет к увеличению индекса трофности. При оценке связи значений индекса E-TRIX с его параметрами получено, что наибольшая корреляция наблюдается с хлорофиллом «а» ($r = 0,78$). Однако расчет относительного вклада компонентов, входящих в расчетную формулу E-TRIX, показал, что основным фактором, определяющим уровень эвтрофирования вод восточной части Севастопольской бухты, является концентрация минеральных форм азота.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме 0827-2018-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей», а также частично при поддержке РФФИ, грант 18-45-920002 p_a.

ВЫСОКИЕ ЗНАЧЕНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА НАД МОРЯМИ АРКТИКИ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Суркова Г.В.

*МГУ, г. Москва, Россия
galina_surkova@mail.ru*

Ключевые слова: климат, скорость ветра, экстремумы.

Представлены результаты исследования климатического режима высоких скоростей ветра в современных условиях и для прогностического сценария RCP8.5 в Арктике. Более подробно рассмотрены условия в Баренцевом и Карском морях – проведен анализ суточных экстремумов средней скорости ветра над акваториями морей. Изучены многолетние тенденции экстремального ветрового режима в этих районах на фоне климатических

изменений последних десятилетий и функции распределения экстремумов. На примере Баренцева моря выполнена прогностическая оценка изменения повторяемости синоптических ситуаций, сопровождающих высокие скорости ветра в XXI в.

При анализе суточных экстремумов в качестве исходных данных использованы результаты реанализа XX века TCR2 для зональной и меридиональной составляющих скорости приземного (10 м) ветра. Оценка экстремальных значений скорости ветра и типизация соответствующих им синоптических ситуаций выполнялась для Баренцева моря на основании результатов реанализа ERA-Interim. Прогностическая оценка повторяемости ситуаций с высокими скоростями ветра над Баренцевым морем к концу XXI была выполнена по данным ансамбля моделей CMIP5 (сценарий RCP8.5).

Выявлено, что современные изменения средней и экстремально высокой скорости ветра над Баренцевым и Карским морями в период 1981–2015 гг. не показывают направленных трендов, демонстрируя на фоне стабильности выраженные межгодовые и междекадные колебания.

Применение генетического метода для синоптических ситуаций, с которыми связаны высокие скорости ветра над Баренцевым морем, позволяет говорить о том, что в случае реализации радикального сценария потепления RCP8.5 повторяемость таких ситуаций к концу XXI века будет возрастать.

Показано, что при реализации сценария RCP8.5 тенденция роста экстремальных значений скорости ветра над преобладающей частью Арктики характерна для большинства моделей климатической системы CMIP5.

Получено, что общие для большинства моделей черты уменьшения как средней, так и экстремально высокой скорости отмечаются для конца XXI века над большей частью Гренландии, Северной Атлантики и над Норвежским морем. Результаты свидетельствуют о заметной согласованности моделей климата относительно географического распределения положительных и отрицательных аномалий – уменьшение средних значений скорости над большей частью севера Евразии, Северной Атлантикой, рост над морями Арктики, севером Северной Америки; для экстремально высоких значений прогнозируется рост на большей

части морской Арктики, на севере Евразии и Северной Америки, уменьшение над Северной Атлантикой и Гренландией.

АССИМИЛЯЦИЯ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В АДАПТИВНОЙ МОДЕЛИ МОРСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

Тимченко И.Е., Науменко И.П., Игумнова Е.М.

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

Ключевые слова: адаптивный баланс влияний, поля верхнего слоя Черного моря, коэффициенты влияний.

В основе адаптивной модели морской экосистемы лежит идея максимально использовать данные наблюдений о химико-биологических реакциях превращения веществ в морской среде для того, чтобы упростить построение динамических уравнений экосистемы. Такую возможность открывает метод адаптивного баланса влияний, в котором используются обыкновенные дифференциальные уравнения специального (логистического) типа. Ассимиляция данных наблюдений в подобных моделях сводится к учету в уравнениях дополнительных функций источников, представляющих наблюдения. Одномерные по времени динамические модели экосистем могут быть использованы в каждом узле пространственной расчетной сетки, покрывающей область исследований. Располагая временными сценариями процессов в узлах сеточной области, можно перейти к построению карт пространственно-временных полей экосистемы. При этом пространственная динамика концентраций веществ в модели экосистемы может быть обеспечена путем ассимиляции расчетных данных о переносе и диффузии веществ, полученных из гидродинамической модели морской среды.

Доклад посвящен реализации этой идеи на примере ассимиляции данных наблюдений и расчетных данных о динамике морской среды в адаптивной модели верхнего слоя моря, построенной для района северо-западного шельфа Черного моря

(СЗШ ЧМ). Рассмотрен вывод уравнений метода адаптивного баланса влияний, автоматически сохраняющих материальные балансы превращения веществ в морской среде с учетом внешних влияний за счет отрицательных обратных связей между переменными модели и скоростями их изменения. В качестве схемы причинно-следственных связей между процессами в экосистеме применена известная модель верхнего слоя моря из статьи Фэшема, Даклоу и Мак-Кельви. В качестве внешних влияний использованы данные спутниковых наблюдений поля концентрации хлорофилла-а, выполненные в районе СЗШ ЧМ в 2012 году, а также расчетные данные о динамике морской среды, полученные по программе «*Myosean*».

Основной проблемой применения метода адаптивного баланса влияний является оценка коэффициентов влияний по данным наблюдений. В докладе был опробован упрощенный метод оценки коэффициентов по нормированным отношениям средних значений моделируемых полей. Выполнен анализ литературных источников и определены средние многолетние значения полей концентраций фито-, зоо- и бактерио- планктона, нитратов, аммония и растворенного органического вещества районе СЗШ ЧМ по которым определены коэффициенты влияний модели.

Приведены результаты вычислительных экспериментов, в ходе которых были исследованы устойчивость вычислительного алгоритма модели и ее чувствительность к усвоению информации. Ассимиляция спутниковых и расчетных данных позволила построить временные сценарии на каждый день 2012 года в узлах сеточной области, покрывавшей район СЗШ ЧМ. По этим сценариям были восстановлены карты моделируемых биохимических полей. Приведены примеры этих карт, построенных на 209 сутки 2012 года, которые демонстрируют определенное локальное подобие в ряде районов. В частности, выделяются особенности структуры полей у западной оконечности Крыма, которые обусловлены динамикой вод. Сделан вывод о возможности замены сложных параметризаций, применяемых при описании внутрисистемных взаимодействий в морской экосистеме, нормированными отношениями средних значений полей. Такая замена

упрощает ассимиляцию данных спутниковых наблюдений и расчетных данных о динамике морской среды в адаптивной модели экосистемы.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ МОРСКОЙ СРЕДЫ В ЭКОЛОГО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ «БЕРЕГ – МОРЕ»

Тимченко И.Е., Игумнова Е.М.

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

Ключевые слова: системные принципы, метод адаптивного баланса влияний, динамико-стохастическая модель, агенты управления.

Для управления устойчивым развитием природно-хозяйственных комплексов «берег – моря» необходимо сформулировать концептуальную основу построения информационных технологий, позволяющих прогнозировать сценарии эколого-экономических процессов потребления и воспроизводства ресурсов прибрежной зоны моря. В докладе обсуждается применение двух наиболее важных принципов системного анализа в качестве подложной основы: принципа адаптивного баланса влияний и принципа информационного единства динамической модели системы и данных наблюдений о процессах развития. Первый из них постулирует автоматическое сохранение балансов внутрисистемных влияний в устойчивых системах и служит формальной основой для построения специальной системы уравнений одноименного метода адаптивного баланса влияний, применяемого в докладе. Второй используется для создания адаптивных динамико-стохастических моделей (АДСМ), позволяющих прогнозировать сценарии развития в эколого-экономических системах «берег – море» и осуществлять их корректировку путем усвоения данных наблюдений в АДСМ. Отмечается свойство АДСМ авто-

матически сохранять материальные балансы реакций превращения веществ в эколого-экономических системах под действием внешних сил благодаря наличию в их уравнениях стабилизирующих обратных связей между переменными модели и скоростями их изменения.

Обсуждаются перспективы использования в АДСМ логических агентов управления, принимающих локальные решения в соответствии с критериями управления. Приводятся примеры структур информационных технологий управления потреблением морских ресурсов. Предложена интегральная модель ресурсной емкости морской среды. На примере потребления ассимиляционного ресурса морской среды рассмотрено построение системы уравнений АДСМ и числовой информационной технологии управления потреблением ассимиляционного ресурса морской среды. Оптимизация управления осуществлена с помощью агентов управления, одновременно контролировавших рентабельность потребления ресурса и уровень загрязнения моря отходами производства. Предложен метод определения коэффициентов уравнений АДСМ по ковариационным матрицам наблюдаемых процессов развития. Приведены результаты вычислительных экспериментов, в ходе которых была реализована информационная технология управления балансом потребления и воспроизводства ассимиляционного ресурса прибрежной зоны моря. Построены сценарии объемов производства морепродукта в зависимости от уровня загрязнения морской среды. Управление выпуском продукции осуществлялось путем наложения штрафов за загрязнение, которые увеличивали себестоимость производства, понижая его рентабельность, и путем прямого ограничения выпуска. В структуре АДСМ был предусмотрен режим накопления штрафных санкций в специальном фонде природно-охранных действий, который имитировал ограничение потока загрязняющих веществ в море, когда величина фонда достигала установленное значение. Исследовано влияние динамики морской среды на сценарии эколого-экономических процессов. Это влияние было учтено путем добавления случайной функции, имитировавшей влияние переноса и диффузии на концентрацию загрязняющих веществ в море. Сделаны выводы о том, что мо-

дульная структура уравнений АДСМ существенно упрощает создание цифровых информационных технологий управления сценариями развития. Это позволяет осуществлять эффективный контроль за динамикой потребления и воспроизводства морских ресурсов.

ОСОБЕННОСТИ СИНОПТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ И СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Федирко А.В., Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А.

*МГИ, г. Севастополь, Россия
vault102@gmail.com*

Ключевые слова: Черное море, термохалинная структура, динамика вод, синоптическая изменчивость, Севастопольский антициклон, Основное черноморское течение.

Для оценки проявления синоптической изменчивости структуры вод на фоне сезонного сигнала особый интерес представляет анализ результатов гидрологических измерений, выполненных в последовательных съемках с интервалом около месяца. В данной работе представлены результаты исследования структуры вод в зоне Основного черноморского течения в апреле-мае и в июне-июле 2017 г. по материалам 94-го и 95-го рейсов НИС «Профессор Водяницкий» с привлечением спутниковых данных массива *MyOcean Pathfinder V5.2 (PFV52) AVHRR*.

Показано, что основные закономерности сезонного цикла, выявленные в климатических полях, отражают распределения значений разностей между величинами гидрологических характеристик по данным двух съемок. Показано, что сезонные изменения проявились в общем ослаблении ОЧТ в период летней съемки, инструментально измеренная скорость которого умень-

шалась почти на 20 см/с, в повышении поверхностной температуры (ТПМ) на 5–15°C и понижении поверхностной солености (СПМ) на 0,1–0,6‰.

Показано, что максимальные величины разности ТПМ (13–15°C) между съемками наблюдались в зоне ОЧТ у южных берегов Крыма и в восточной части акватории. Максимальные значения разности СПМ (0,4–0,6‰) выявлены у северо-западной границы акватории, к югу от Феодосийского залива и в зоне ОЧТ в юго-восточной части полигона.

Синоптическая изменчивость проявляется, главным образом, в различиях пространственной структуры гидрологических полей в периоды двух съемок. Показано, что эти различия обусловлены меандрированием Основного черноморского течения (ОЧТ) и образованием антициклонических и циклонических вихрей, количество, положение и интенсивность которых изменялись от съемки к съемке. Севастопольский (СА) и Крымский (КА) антициклоны четко прослеживались в периоды обеих съемок, но летом СА был смещен на северо-восток ближе к берегам Крыма, а КА сместился на юго-запад относительно их весеннего положения. В период второй съемки в юго-западной части полигона сформировался интенсивный циклонический меандр, который практически не прослеживался весной.

Синоптическая изменчивость хорошо проявилась летом, когда на фоне общего сезонного повышения ТПМ у южных берегов Крыма в результате развития прибрежного апвеллинга температура понизилась до 11°C. В вертикальной структуре вод синоптическая изменчивость была выражена более четко в период весенней съемки, когда у поверхности сформировалась прослойка теплых вод, связанная с интенсивным прогревом, что привело к образованию в структуре верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) двух хорошо выраженных ступеней. В среднем вертикальная мощность верхней ступени ВКС составляла 8–15 м, нижней – 25–65 м. В период летней съемки структура ВКС была однородна, его нижняя ступень исчезала, и вертикальная мощность не превышала 2–10 м.

Изменения на синоптическом масштабе зафиксированы в характеристиках ХПС. В период второй съемки в юго-западной части полигона за счет смещения СА к северу ядро ХПС

приподнялось на 5–10 м ближе к поверхности, а температура в нем повысилась почти на $0,7^{\circ}\text{C}$, у юго-западной границы района съемки, наоборот, наблюдалось резкое понижение температуры в ядре ХПС (почти на $0,8^{\circ}\text{C}$), а само ядро заглубилось на 5–10 м.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ ПО МАТЕРИАЛАМ СЪЕМОК 2017 Г. (94-Й, 95-Й, 98-Й, 101-Й РЕЙСЫ НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»)

**Федирко А.В., Артамонов Ю.В., Шутов С.А.,
Скрипалева Е.А., Колмак Р.В.**

*МГИ, г. Севастополь, Россия
vault102@gmail.com*

Ключевые слова: Черное море, гидрологические измерения, термохалинная структура вод, Основное черноморское течение, верхний квазиоднородный слой, холодный промежуточный слой, пространственно-временная изменчивость.

Представлены результаты исследования структуры и динамики вод северной части Черного моря по материалам 94-го (апрель-май), 95-го (июнь-июль), 98-го (ноябрь) и 101-го (декабрь) рейсов НИС «Профессор Водяницкий» в 2017 г. Гидрологические измерения проводились комплексом *Sea-Bird 911plus*, скорости течений измерялись в верхнем 300-метровом слое с помощью профилографа *ADCP WORKHORSE-300 kHz*.

По данным всех съемок на большей части акватории исследований преобладали течения западного направления, интерпретируемые как проявление ветвей Основного черноморского течения (ОЧТ). Инструментально измеренные скорости потока ОЧТ в периоды зимней и весенней съемок достигали 40–45 см/с. Летом и осенью ОЧТ ослабевало и его скорости не превышали 30 и 25 см/с соответственно, что согласуется с климатическим сезонным циклом. В период исследований ОЧТ сильно меандрировало и на его северной периферии прослеживались антицикло-

нические круговороты, количество и расположение которых изменялось от съемки к съемке. Наиболее крупномасштабным и интенсивным из них, четко проявляющимся по данным всех съемок, был Севастопольский антициклон (СА). Весной к востоку от СА хорошо прослеживались Крымский (КА) и Феодосийский (ФА) антициклоны. Летом были выявлены КА и антициклонический меандр над материковым склоном к югу от Феодосийского залива. Осенью проявлялась только западная периферия КА. Зимой хорошо прослеживался ФА. Все антициклоны образовывались на границе шельфа и свала глубин в результате взаимодействия ОЧТ с особенностями рельефа дна.

В распределениях термохалинных характеристик по данным четырех съемок хорошо прослеживался сезонный сигнал. Средняя температура верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) весной составляла 10–12°C, летом повышалась до 22–24°C, осенью и зимой последовательно понижалась до 12–13°C и 11–11.5°C. В период летней съемки в результате развития прибрежного апвеллинга температура у южных берегов Крыма понизилась до 11°C. Распределение солёности в ВКС соответствовало климатическому. Самые солёные воды в периоды всех съемок (18,6‰, 18,7‰, 18,5‰ и 18,5‰ соответственно) располагались у южных границ полигонов ближе к зонам халистатики. Минимумы солёности (18,2‰, 17,7‰, 18,0‰ и 18,2‰) наблюдались на северо-западе полигонов, где присутствовали распресненные воды северо-западного шельфа, и в северо-восточной части съемок, куда проникали более пресные воды юго-восточной части моря, Азовского моря и Феодосийского залива.

Вертикальная мощность ВКС составляла 8–65 м весной, 2–10 м летом, 20–45 м осенью и 20–60 м зимой.

Температура в ядре холодного промежуточного слоя (ХПС) и глубина его залегания изменялись в пределах 7,0–7,9°C и 40–80 м весной, 7,0–8,2°C и 40–85 м летом, 7,6–8,05°C и 40–80 м осенью и зимой.

Глубина залегания верхней границы сероводородной зоны по изопикне 16.2 усл. ед. изменялась в пределах 105–190 м весной, 90–170 м летом и зимой, 120–185 м осенью.

В периоды всех съемок наибольшее заглубление нижней границы ВКС, ядра ХПС и верхней границы сероводородной зоны

наблюдалось в районах СА, КА и ФА. Минимальные глубины отмечались в глубоководной южной части полигонов ближе к центрам крупномасштабных циклонических круговоротов.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОЕННОЙ ПОДСИСТЕМЫ ЕСИМО

Федоров А.А., Юровских А.И.

*373 Центр сбора и обработки гидрографической и гидрометеорологической информации Военно-Морского Флота,
г. Санкт-Петербург, Россия
373_csogmo@mil.ru*

Ключевые слова: единая государственная система информации о Мировом океане, военная подсистема ЕСИМО, средства защиты информации, океанографические данные.

Для информационного обеспечения Вооруженных сил Российской Федерации в составе единой государственной системы информации о Мировом океане (ЕСИМО) функционирует соответствующая подсистема – военная подсистема ЕСИМО.

Приказом Министра обороны Российской Федерации № 411 от 10 июня 2014 года «Об утверждении Порядка деятельности центра единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане Министерства обороны Российской Федерации» центром ЕСИМО определен 373 Центр (сбора и обработки гидрографической и гидрометеорологической информации) Военно-Морского Флота.

Приказом Главнокомандующего Военно-Морским Флотом № 498 от 20 мая 2015 года Центр введен в постоянную эксплуатацию.

Для организации взаимодействия организован канал «сквозного» обмена информацией между общим контуром и военной подсистемой ЕСИМО с использованием специальных средств защиты информации. В результате военной подсистеме доступны

более 1200 единиц оперативных и неоперативных информационных ресурсов Росгидромета в ЕСИМО. Эти ресурсы используются для комплексного информационного обеспечения органов управления Министерства обороны России информацией о состоянии природной среды в Мировом океане, циркулирующей в общем контуре ЕСИМО, в частности, карты ледовой обстановки по зонам ответственности флотов, оперативные гидрометеорологические и океанографические данные по Мировому океану.

В настоящее время в автоматизированном режиме продолжается процесс сбора информационных ресурсов Росгидромета, средствами специализированного информационно-технологического узла (СИТУ ВП ЕСИМО) и передача их в закрытый контур заинтересованным потребителям военной подсистемы ЕСИМО. При этом используются штатные средства защиты информации сопряженных с СИТУ ВП ЕСИМО программно-аппаратных комплексов военного назначения. Данные ресурсы размещаются на сайте 373 Центра ВМФ и доступны в корпоративной сети гидрографической службы ВМФ. Работоспособность СИТУ ВП ЕСИМО за прошедший период составила в среднем 97,0%.

В перспективе основные усилия по развитию военной подсистемы ЕСИМО, необходимо сосредоточить на организации доступа к поступающей и накопленной в СИТУ ВП ЕСИМО информации о состоянии среды потребителей военного контура и гарантированной доставки до удаленных потребителей, с соблюдением мер информационной безопасности.

В плане развития военной подсистемы ЕСИМО в части организации информационного обмена и обслуживания абонентов ЕСИМО на стороне военной подсистемы рассматривается возможность функционирования двух экземпляров комплекса в сетях общего назначения и закрытых сетях военной подсистемы ЕСИМО.

В случае успешной реализации данных мероприятий в закрытых сетях военной подсистемы ЕСИМО будет установлен аппаратно-программный комплекс, предоставляющий доступ абонентам военной подсистемы к информационным ресурсам (цифровые данные, геосервисы, использование автономных расчетно-модельных комплексов, аналитические представления,

стандартные и т.д.), имеющий возможность интегрировать данные в информационные системы органов военного управления.

ТОЧНОСТЬ ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ КОНВЕКЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОЛИЧЕСТВА ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Федоров А.М.^{1,2}, Башмачников И.Л.^{1,2}

¹СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

²ФОНД «НАНСЕН-ЦЕНТР», г. Санкт-Петербург, Россия
aandmofficially@gmail.com

Ключевые слова: Гренландское море, глубокая конвекция, ВКС, ARMOR3D, SODA, кластерный анализ.

Глубокая конвекция (ГК) в Гренландском море формирует глубинные водные массы, которые составляют основную часть возвратного глубинного потока Атлантической термохалинной циркуляции (АТХЦ) [1, 2]. Изменчивость интенсивности конвекции отражается на флуктуациях АТХЦ, которые, в свою очередь, влияют на погодные условия в Европе [3] и европейской части России. Интенсивность глубокой конвекции традиционно оценивается как максимальная глубина верхнего квазигомогенного слоя (ВКС) за холодный период. В условиях ограниченного количества контактных измерений, в особенности в зимний сезон, возникает необходимость оценки точности определения глубины ВКС в зависимости от количества наблюдений.

В работе используются данные температуры и солености океанических реанализов: SODA (1980–2015 гг. на сетке $0,5^\circ \times 0,5^\circ$) и ARMOR3D (1993–2016 гг. на сетке $0,25^\circ \times 0,25^\circ$). Глубина ВКС, рассчитывалась по методу Духовского.

Анализ связи площади области с глубиной ВКС более 1000 м и максимальной глубины ВКС за март-апрель (период наибольшей интенсивности ГК в Гренландском море) каждого года показал, что эта зависимость близка к логарифмической. Кластерный

анализ этих характеристик позволил выделить в каждом из массивов по три кластера с аномально глубокой, средней и малой глубиной конвекции. Для каждого кластера и каждого реанализа были вычислены площади, занимаемые выделенными интервалами глубин, которые послужили основой для формирования 6-ти тестовых полей глубин ВКС. По этим полям определялись количества точек «наблюдений», достаточные для определения максимальной глубины ВКС в пределах заданной погрешности. По массиву ARMOR3D было показано, что глубина ВКС с ошибкой не более 10% при глубокой конвекции может быть получена при наличии 30 наблюдений за зимний сезон, при малой интенсивности конвекции – 60, а при средней – 90. По данным SODA, для полей с минимальной и максимальной интенсивностью ГК было достаточно 80 наблюдений при ошибке не более 15%, со средней интенсивностью ГК – 100 наблюдений при ошибке 25%. Результаты показали, что для большинства лет, с 1980 по 2016 гг., количество натуральных наблюдений недостаточно для оценки интенсивности ГК через максимальную глубину ВКС с ошибкой не более 15%.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-17-01151).

Литература

1. Mercier H., Lherminier P., Sarafanov A., Gaillard F., Daniault N., Desbruyères D, Falina A., Ferron B., Huck T., Thierry V. Variability of the meridional overturning circulation at the Greenland-Portugal OVIDE section from 1993 to 2010 // Prog. Oceanogr. – 2015. – №. 132. – P. 250–261. doi:10.1016/j.pocean.2013.11.001.
2. Pérez F.F., Mercier H., Vazquez-Rodriguez M., Lherminier P., Velo A., Pardo P., Roson G., Rios A. Reconciling air-sea CO₂ fluxes and anthropogenic CO₂ budgets in a changing North Atlantic // Nat. Geosci. – 2013. – №. 6. – P. 146–152. doi:10.1038/ngeo1680.
3. Latif M., Boning C., Willebrand J., Biastoch A., Dengg J., Keenlyside N., Schweckendiek U., Madec G. Is the thermohaline circulation changing? // J. Clim. – 2006. – Vol. 19(18). – P. 4631–4637. doi: 10.1175/JCLI3876.1.

ПЕРЕЧЕНЬ ОРГАНИЗАЦИЙ

ААНИИ – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт», г. Санкт-Петербург.

АГУ – автономное самоуправляемое учреждение высшего профессионального образования «Абхазский Государственный Университет», г. Сухум, Республика Абхазия.

АНО НИЦ «Полярная инициатива» – Автономная некоммерческая организация Научно-информационный центр «Полярная инициатива», г. Москва.

Балтик Нест институт, Центр Балтийского моря Стокгольмского университета, Стокгольм, Швеция.

ВНИИГМИ-МЦД – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных», г. Обнинск.

ГЕОХИ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук», г. Москва.

Гидрометцентр России – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации», г. Москва.

ГОИН – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова», г. Москва.

ИВМ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт вычислительной математики Российской академии наук», г. Москва.

ИВПС КарНЦ РАН – Институт водных проблем Севера Федерального государственного бюджетного учреждения науки

«Федеральный исследовательский центр Карельский научный центр Российской академии наук», г. Петрозаводск.

ИМБИ – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь.

Институт наук о Земле СПбГУ – Институт наук о Земле Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург.

Институт сейсмологии и геодинамики КФУ – Институт сейсмологии и геодинамики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», г. Симферополь.

ИО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук», г. Москва.

ИПМех РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук», г. Москва.

ИПТС – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт природно-технических систем», г. Севастополь.

ИЭАНА – Институт Экологии Академии Наук Абхазии, г. Сухум, Республика Абхазия.

КаспМНИЦ – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Каспийский морской научно-исследовательский центр», г. Астрахань.

КрАО – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный.

- КФ ГМУ** – Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова», г. Севастополь.
- КФУ** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», г. Симферополь.
- МГИ** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Морской гидрофизический институт РАН», г. Севастополь.
- МГИМО** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации», г. Москва.
- МГРИ-РГГРУ** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», г. Москва.
- МГУ** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», г. Москва.
- ММБИ КНЦ РАН** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра Российской академии наук», г. Мурманск.
- МФТИ** – Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)», г. Долгопрудный.
- НГТУ** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский

государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород.

НИИ «АЭРОКОСМОС» – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга "АЭРОКОС-МОС" Министерства науки и высшего образования и Российской Федерации под научно-методическим руководством Российской академии наук», г. Москва.

Норвежский полярный институт, г. Тромсё, Норвегия.

РГГМУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург.

РФФИ – Российский Фонд Фундаментальных Исследований, г. Москва.

САФУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова», г. Архангельск.

СГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Высшего образования «Сочинский государственный университет», г. Сочи.

Севастопольский ЦГМС – Севастопольский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Крымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», г. Севастополь.

СевГУ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение Высшего образования «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.

СО ГОИН – Севастопольское отделение Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова», г. Севастополь.

СОФАГ ОНЗ РАН – Секция океанологии, физики атмосферы и географии Отделения наук о Земле Российской академии наук.

СПб УГПС МЧС России – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России», г. Санкт-Петербург.

СПбГУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург.

ТОИ ДВО РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук», г. Владивосток.

Университет г. Бангор, г. Бангор, Великобритания.

Университет ИТМО – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», г. Санкт-Петербург.

Университет Мэрилэнда, Колледж Парк, США.

ФБУЗ «ЦГиЭ в РК и гфз Севастополе» – Федеральное бюджетное учреждение здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе», г. Севастополь.

ФГБУ «Крымское УГМС» – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Крымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», Агрометеорологическая станция Никитский сад, г. Ялта.

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.

ФОНД «НАНСЕН-ЦЕНТР» – Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», г. Санкт-Петербург.

ЧГП РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Черноморский гидрофизический полигон РАН», пгт. Кацивели.

ЮНЦ РАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук», г. Ростов-на-Дону.

IFREMER – Институт изучения и освоения моря, г. Брест, Франция.

373 Центр сбора и обработки гидрографической и гидрометеорологической информации Военно-Морского Флота, г. Санкт-Петербург.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Александрова А.Г.	189
Алескерова А.А.	104
Андрющенко Е.Г.	235
Антоненков Д.А.	106
Артамонов Ю.В.	108, 143, 258, 293, 295
Артамонова А.В.	140
Артемьев В.А.	205
Архипкин В.С.	26
Багаев А.В.	220
Базыкина А.Ю.	28
Барабанов В.С.	29
Баталкина С.А.	222
Башмачников И.Л.	122, 211, 299
Баянкина Т.М.	110
Бежин Н.А.	111, 131
Белов С.В.	227
Белокопытов В.Н.	213
Белоненко Т.В.	92
Бердников С.В.	172
Берзова И.Г.	112
Богуславский А.С.	112
Бондур В.Г.	114, 116
Букатов А.А.	215
Булатов В.В.	31
Булгаков К.Ю.	118
Буфетова М.В.	120
Бухановский А.В.	49, 71, 217
Вареник А.В.	272
Васечкина Е.Ф.	94
Василенко Н.В.	219
Вержевская Л.В.	220, 271
Весман А.В.	122, 211
Видничук А.В.	19, 123
Вишневская И.А.	186
Владимиров Ю.В.	31

Владими́рова О.М.	33
Войно́ва М.В.	125, 195
Воро́бьев В.Е.	114
Воро́нин А.А.	170
Воро́нович Е.П.	127
Воро́нцов А.А.	36, 222, 225, 227
Воро́тников Д.И.	89
Выды́ш А.А.	111, 131
Вязи́лов Е.Д.	227
Вязи́лова Н.А.	229
Га́йский П.В.	201
Га́лковская Л.К.	235
Га́рмашов А.В.	231
Гео́рга-Копу́лос А.А.	233
Ги́ниятуллин А.Р.	56
Ги́ппиус Ф.Н.	35
Глу́шкова Е.В.	80
Го́дин Е.А.	213, 225, 235, 243
Го́рячкин Ю.Н.	104
Гре́ков А.Н.	129
Гре́ков Н.А.	129
Гри́горьев А.В.	36
Гри́н М.	142
Гро́дский С.А.	208
Гру́зинов В.М.	36, 237
Гу́ров К.И.	148, 183
Де́мышев С.Г.	74
Ди́анский Н.А.	237
Дми́троца А.И.	284
До́вгий И.И.	111, 131
До́ронин Д.О.	255
До́рофеев В.Л.	38, 39
Ду́бина В.А.	78
Ду́биненков И.В.	255
Ду́лов В.А.	132
Ды́мова О.А.	41
Дьоло́г А.И.	156
Дья́ков Н.Н.	237, 266

Евстигнеев В.П.	186, 239, 241
Елкин Д.Н.	133
Ерёмина Е.С.	242
Еремина Т.Р.	33
Есюкова Е.Е.	157
Ефимов В.В.	43
Ефремов О.И.	135
Жохова Н.А.	237
Жук Е.В.	235, 243
Журавский Д.М.	255
Зайков К.С.	255
Залесный В.Б.	72
Замшин В.В.	114, 116, 137
Запевалов А.С.	64
Зацепин А.Г.	36, 53, 133, 189
Зеленько А.А.	44
Зима В.В.	152
Зубкова Е.В.	142
Иваненко Т.А.	245
Иванов Б.В.	255
Иванов В.А.	46, 72
Иванов В.В.	139
Иванча Е.В.	73
Игунова Е.М.	289, 291
Ингеров А.В.	225, 235, 243
Исаев А.В.	33
Исаева Е.А.	225, 235
Казачков С.И.	112, 164
Калинюк И.В.	48
Калюжная А.В.	49
Карнаухов А.А.	78
Касьяненко Т.Е.	235
Кашин Д.В.	125
Клещенков А.В.	172
Кныш В.В.	68
Козлов И.Е.	140, 142, 275
Козловская О.Н.	131
Колмак Р.В.	143, 295

Кондратьев С.И.	199, 247
Коновалов С.К.	19, 123
Кориненко А.Е.	145
Коровушкин А.И.	231
Коротаев Г.К.	68
Коротенко К.А.	51
Корсаков П.Б.	164
Корчемкина Е.Н.	147, 258
Коршенко А.Н.	125, 195, 237, 249, 266
Котельянец Е.А.	148
Кочергин В.С.	52
Кочергин С.В.	52
Краевская Н.Ю.	102
Крашенинникова С.Б.	150
Кременчуцкий Д.А.	131
Кубряков А.А.	53, 104, 140, 280
Кубряков А.И.	36
Кудрявцев В.Н.	132, 145, 207, 208
Кузнецов А.С.	152, 271
Кузьмичёва Т.Ф.	253
Кулаков М.Ю.	55
Куприков Н.М.	255
Куркин А.А.	56, 70
Куркина О.Е.	56, 58, 70
Кустова Е.В.	170
Лазарюк А.Ю.	170
Лазоренко Д.И.	60
Лактионова Н.В.	89
Ластовенко О.Р.	66, 156
Латушкин А.А.	108, 154, 258, 260
Лебедев К.В.	62, 262
Лебедев Н.Е.	64
Левицкая О.В.	266
Лемешко Е.Е.	112, 264
Лемешко Е.М.	154, 274
Лемешко Н.А.	239
Линкольн Б.	142
Липченко А.Е.	266

Лисютин В.А.	66, 156
Лишаев П.Н.	68
Лобанов В.Б.	170
Лобовиков П.В.	70
Лобчук О.И.	157, 159
Ломакин П.Д.	161, 162
Лопатухин Л.И.	71, 217
Лукьянова А.Н.	72
Лычагин М.Ю.	172
Любарец Е.П.	241
Люльчак Д.С.	247
Майборода С.А.	164, 175
Макаров К.Н.	268
Макштас А.П.	55
Маленко Ж.В.	48
Малиновский В.В.	145
Мальченко Ю.А.	237
Манилюк Ю.В.	60
Маньковская Е.В.	147, 271
Маркова Н.В.	74
Мартынов О.В.	260
Марчукова О.В.	166, 168
Марьина Е.Н.	170
Марюшкин Ю.А.	180
Матишов Г.Г.	20, 172
Матишов Д.Г.	172
Матросова Е.Р.	137
Медведев Е.В.	199
Медведева А.В.	219, 270
Мезенцева И.В.	237
Метик-Дионова В.В.	164, 175, 284
Миклашевская Н.А.	41
Мирошниченко С.Т.	80
Михайличенко С.Ю.	73
Михайлов Н.Н.	227
Михайлова Э.Н.	75, 76
Мишин Д.В.	186
Моисеенко Т.И.	22

Морозов А.Н.	177, 271
Мысленков С.А.	26, 35, 189
Мыслина М.А.	272
Науменко И.П.	289
Наумова В.А.	239, 241
Нечаев С.С.	74
Нигматулин Р.И.	24
Никольский Н.В.	178
Новицкая В.П.	274
Новицкий А.В.	180
Носова А.В.	89
Овсяный Е.И.	183
Огородов С.А.	25
Орехова Н.А.	19, 181, 183, 272
Островская Е.В.	125, 185, 195
Остроумова Л.П.	186, 241
Павленко Е.А.	215
Павлова А.В.	26
Павлушин А.А.	75, 76
Пантель В.О.	80
Петренко Л.А.	188, 275
Петренко Н.В.	66
Петреченкова В.Г.	185
Петров Е.О.	90
Пиотух В.Б.	189
Пластун Т.В.	46, 235
Поважный В.В.	172
Погребной А.Е.	276
Полозок А.А.	264
Пономарев В.И.	78, 170
Попов М.А.	191
Попова Н.В.	195
Проскурнин В.Ю.	131
Прохоренко Ю.А.	278
Пухлий В.А.	80
Радованова И.Г.	185
Ратнер Ю.Б.	83
Реснянский Ю.Д.	44

Риппет Т.	142
Рубакина В.А.	280
Рувинская Е.А.	56, 70
Рябцев Ю.Н.	98
Рябченко В.А.	33
Сабуров С.А.	255
Савоськин В.М.	193, 282
Савчук О.П.	33
Садыкова Г.Э.	245
Санников В.Ф.	85
Свищев С.В.	86
Свищева И.А.	46
Семенов Е.К.	90
Сергеев А.Ф.	170
Серебряный А.Н.	116
Сизов А.А.	110
Симонова Ю.В.	164, 175, 284
Скиба Е.В.	132
Скрипалева Е.А.	108, 143, 258, 293, 295
Слепчук К.А.	285
Слепышев А.А.	89
Совга Е.Е.	242
Соколихина Н.Н.	90
Соловей Н.М.	215
Соловьев Д.М.	189
Сорокин П.А.	255
Сорокина В.В.	172
Станичный С.В.	53, 104, 270, 280
Степанова О.А.	201
Струков Б.С.	44
Сундфьорд А.	142
Суркова Г.В.	287
Суслин В.В.	260
Сухих Л.И.	38, 39
Сычев Е.Н.	129
Талалушкина Л.В.	56
Тараканов Р.Ю.	62
Татарников В.О.	125, 195

Тимченко И.Е.	86, 289, 291
Ткаченко А.Н.	172
Ткаченко О.В.	172
Толокнов Ю.Н.	231
Тюгин Д.Ю.	58
Файман П.А.	78
Федирко А.В.	108, 143, 258, 293, 295
Федоров А.А.	297
Федоров А.М.	92, 211, 299
Филиппова Т.А.	94
Фомин В.В.	28, 60
Фомин В.В.	237
Фролов И.Е.	55
Харламов П.О.	170
Харченко В.Д.	137
Хмара Т.В.	96
Ходаева В.Н.	137
Холод А.Л.	83
Хурчак А.П.	258
Цыбулевская М.В.	197
Цыганкова А.Е.	172
Цыганова М.В.	98
Чепыженко А.А.	161, 162
Чепыженко А.И.	162, 203
Чубаренко И.П.	157, 159
Чухарев А.М.	100, 135
Шабан С.А.	83
Шапиро Н.Б.	75, 76
Шаповал К.О.	36
Шапрон Б.	208
Шибаета С.А.	266
Шкорба С.П.	78
Шокуров М.В.	74, 101, 102
Шокурова И.Г.	150, 199
Шоларь С.А.	201
Шульга Т.Я.	46
Шутов С.А.	295
Щербаченко С.В.	152, 271

Щербинин П.Е.	170
Щодро А.Е.	203
Щука С.А.	205
Юровская М.В.	207
Юровский А.В.	110
Юровский Ю.Ю.	208
Юровских А.И.	297
Янковская В.С.	111
Ярошенко А.А.	48, 66

Работы сотрудников ФГБУН МГИ, представленные на конференции, полностью или частично выполнены в рамках тем государственного задания на 2018–2020 гг. № 0827-2018-0001, № 0827-2018-0002, № 0827-2018-0003, № 0827-2018-0004.

Тезисы докладов научной конференции
«Моря России: методы, средства и результаты исследований»

Подписано к печати 15 августа 2018 г.
Формат 60 84 1/6.

Отпечатано СРОО «Дом солнца»,
ул. Хрусталева, 143, тел. 8692 656011.
Заказ 42, тираж 160.