

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ им. П.П. ШИРШОВА РАН
МГТУ им. Н.Э.БАУМАНА
НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

ХІХ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ



«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ»
(МСОИ-2025)

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

В двух томах
Том I

МОСКВА 2025

На обложке: Зонд-профилограф Винчи на борту МНИС «Ашамба»

УДК 551.46.07

ББК 26.221

«Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2025) / Материалы XIX Международной научно-технической конференции. Том I. – М.: Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, 2025. – 361 с.

ISBN 978-5-6051054-5-9;DOI 10.29006/978-5-6051054-5-9-2025

Книга содержит материалы конференции МСОИ-2025. В сборнике представлены доклады ученых-океанологов, инженеров, аспирантов и студентов, посвященные современным технологиям исследований природы Мирового океана в связи с наиболее актуальными фундаментальными проблемами океанологии.

В томе I рассмотрены современные методы и средства гидрофизических исследований, морских геологических, геофизических и ресурсных исследований, а также исследований, связанных с оперативной океанологией.

Доклады опубликованы в авторской редакции.

Редактирование сборника: Н.А. Римский-Корсаков, Н.Ф. Тихонова. Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема FMWE-0128-2024-0024), при поддержке гранта РФФИ №23-17-00156.

“Modern methods and means of oceanological research”. Proceedings of the XIX International Conference MSOI-2025, Vol. I. – Moscow: Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 2025. 361 p.

This publication contains materials of the MSOI-2025 conference. The book contains ocean scientists, engineers, graduate students and students reports on modern technologies for studying the nature of the World Ocean in connection with the most actual fundamental oceanology problems.

Volume I present modern methods and tools of hydrophysical, marine geological, geophysical and resource research, as well as online oceanology research.

ББК 26.221

ISBN 978-5-6051054-5-9

©ИО РАН 2025

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ МСОИ-2025

- | | | |
|----|---------------------------|---|
| 1 | Шевченко В.В. | <u>председатель</u> , ВРИО директора ИО РАН, |
| 2 | Нигматулин Р.И. | <u>со-председатель</u> , академик РАН, научный
руководитель ИО РАН, |
| 3 | Островский А.Г. | <u>со-председатель</u> , к.г.н., зам директора по
морской технике ИОРАН |
| 4 | Римский-
Корсаков Н.А. | <u>со-председатель</u> , д.т.н., зав. лаб. ИО РАН |
| 5 | Королев А.В. | <u>со-председатель</u> , заместитель директора
НИЦ «Курчатовский институт» по
исследованиям Арктики |
| 6 | Флинт М.В. | академик РАН, научный руководитель
направления «Экология морей и океанов»
ИО РАН, |
| 7 | Лобковский Л.И. | академик РАН, научный руководитель
геологического направления ИОРАН |
| 9 | Верещака А.Л. | чл. корр. РАН, руководитель лаборатории
ИОРАН |
| 10 | Гулев С.К. | чл.-корр., руководитель лаборатории
ИОРАН |
| 11 | Завьялов П.О. | чл.-корр. РАН, заместитель директора ИО
РАН, |
| 15 | Сагалевиц А.М. | д.т.н., зав. лаб. ИО РАН, Герой России |
| 12 | Вельтищев В.В. | д.т.н., зав. кафедрой МГТУ им.
Н.Э.Баумана |
| 13 | Каевицер В.И. | д.т.н, ФИРЭ им. Котельникова РАН |
| 14 | Вялышев А.И. | д.ф.-м.н., главный научный сотр.
ВНИИ ГОЧС МЧС РФ |
| 16 | Мотыжѳв С.В. | д.т.н., руководитель научного направления
МГИ, Севастополь |
| 17 | Вязилов Е.Д. | д.т.н., зав. лаб. ЦОД ФГБУ «ВНИИГМИ-
МЦД» Росгидрометцентра, Обнинск |
| 18 | Казеннов А.Н. | руководитель лаборатории НИЦ
«Курчатовский институт» |
| 19 | Егоров А.В. | к.г-м.н., зав лабораторией ИОРАН |

ОРГКОМИТЕТ МСОИ-2025

- | | | |
|----|-----------------------|---|
| 1 | Шевченко В.В. | <u>председатель</u> ВРИО директора ИО РАН, |
| 2 | Островский А.Г. | <u>со-председатель</u> , к.г.н., зам. директора ИО РАН |
| 3 | Римский-Корсаков Н.А. | <u>со-председатель</u> , д.т.н., зав. лабораторией ИО РАН |
| 4 | Вельтищев В.В. | <u>со-председатель</u> , д.т.н., зав. кафедрой МГТУ им. Баумана |
| 5 | Книвели Н.Я. | заместитель начальника Управления НИЦ «Курчатовский институт» |
| 6 | Свиридов С.А. | зав. отделом инф. технологий ИО РАН |
| 7 | Мокиевский В.О. | д.б.н., вед.н.с. ИО РАН |
| 8 | Глуховец Д.И. | к.г.н., вед.н.с. ИО РАН |
| 9 | Ананьев Р. | С.н.с. ИО РАН |
| 10 | Кикнадзе О.Е. | зав. лабораторией, НИЦ "Курчатовский институт" |
| 11 | Войтов А.В. | гл. специалист ИО РАН |
| 12 | Уманская И.А. | глав. спец. отдела информационных технологий |
| 13 | Тихонова Н.Ф. | н.с., секретарь конференции |

Координационная рабочая группа:

Научн.сотр. Пронин А.А., вед. инж. Водяная Е.Г., ст. инж. Ёлкина М.М., вед. инж. Соколов А.А., Муратов А.В., Куликова Т.А., вед. инж. Марин В.М., инж. Белевитнев Я.И., м.н.с. Муравья В.О., м.н.с. Лесин А.В.

Конференция проводится при финансовой поддержке Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН (госзадание ИО РАН FMWE 2024-0024), Московского государственного технического университета им.Н.Э.Баумана, при научной поддержке проекта РНФ №23-17-00156.

ОГЛАВЛЕНИЕ том 1

ГИДРОФИЗИКА

Перескоков А.И. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ДВОЙНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО ЭКВАТОРА В АТЛАНТИЧЕСКОМ ОКЕАНЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВНУТРИТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЫ КОНВЕРГЕНЦИИ	12
Трусенкова О.О., Ярошук И.О., Кошелева А.В., Самченко А.Н., Пивоваров А.А., Дубина В.А. КВАЗИИНЕРЦИОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ В ЗАЛИВЕ ПОСЪЕТА (ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ) ПО ДАННЫМ ТЕРМОГИРЛЯНД	16
Евстигнеева Н. А., Демьшев С. Г., Дымова О. А СЕЗОННЫЕ И МЕЖГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ТЕЧЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫЕ НА ОСНОВЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ВАРИАНТА МОДЕЛИ МГИ И АССИМИЛЯЦИИ ДАННЫХ В ЛЕТНИЙ И ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ СЕЗОНЫ 2016 И 2017 Г.	20
Булатов В.В., Владимиров И.Ю. ВОЛНЫ НА ГРАНИЦЕ ВОДНОЙ СРЕДЫ И ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА: ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ И АСИМПТОТИКИ	24
Елкин Д.Н., Зацепин А.Г. ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЗКОГО И ШИРОКОГО ПОДВОДНОГО ХРЕБТА НА ПЕРЕМЕЩЕНИЕ АНТИЦИКЛОНИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ НАД НАКЛОННЫМ ДНОМ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ	28
Соколов А. Н. СВЯЗЬ ВЫСОТ ВОЛН В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ С СЕВЕРОАТЛАНТИЧЕСКИМ КОЛЕБАНИЕМ	32
Шатохин М.В., Егорова В.М. ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ОКЕАНЕ В ОКРЕСТНОСТИ ИЗОЛИРОВАННОГО ВОЗМУЩЕНИЯ ПОДВОДНОЙ ТОПОГРАФИИ МЕТОДОМ КОНТУРНОЙ ДИНАМИКИ	36
Козлов И.Е., Коржув В.А., Копышов И.О., Павлов М.И., Зубов А.Г., Зимин А.В. МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ШЕЛЬФОВЫХ РАЙОНАХ АРКТИКИ ЛЕТОМ 2023 Г.	40
Копышов И.О., Козлов И.Е., Зимин А.В., Свергун Е.И., Гайский П.В., Кульшин Д.И., Ермошкин А.В. КОМПЛЕКСНЫЕ МУЛЬТИСЕНСОРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В АРКТИКЕ: ВЫЗОВЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ	43
Шаратунова М.В., Тимофеева А.Б., Мочнова Л.П. ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЗОННОЙ И МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЛЕДОВИТОСТИ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ	47
Федирко А.В., Латушкин А.А., Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИООПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ У БЕРЕГОВ КРЫМА ОСЕНЬЮ 2024 Г. ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ	51
Глуховец Д.И., Гольдин Ю.А. РАСЧЕТ СПЕКТРОВ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ МОРСКОЙ ВОДЫ	56

Бондаренко А. Л. О ТЕЧЕНИЯХ, ВИХРЯХ И ДОЛГОПЕРИОДНЫХ ВОЛНАХ, ВОЛНАХ СОЛИТОНАХ, МИРОВОГО ОКЕАНА, МОРЕЙ, ОЗЁР, ВОДОХРАНИЛИЩ, АТМОСФЕРЫ, И ИХ ИЗМЕНЕНИЯХ. ЛОЖНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ, ИЛЛЮЗИИ И РЕАЛЬНОСТЬ _____	60
Бондаренко А. Л. ЯВЛЕНИЕ ЭЛЬ-НИНЬО – ЛА-НИНЬЯ ФОРМИРУЕТСЯ ВОЛНАМИ СОЛИТОНАМИ МИРОВОГО ОКЕАНА _____	67
Щевьев В. А. УЧЕНЫЕ ИНСТИТУТА ОКЕАНОЛОГИИ ИМ. П. П. ШИРШОВА РАН О ДЛИННОВОЛНОВОЙ ПРИРОДЕ ТЕЧЕНИЙ В ОКЕАНАХ _____	72
Щевьев В. А. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ЦИРКУЛЯЦИИ МИРОВОГО ОКЕАНА _____	76
Булыгин А.М., Воронцов А.А., Вишнев О.Г. ЭВОЛЮЦИЯ ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ ЧЕРНОГО МОРЯ В ТЕЧЕНИЕ ПОСЛЕДНИХ ТРЕХ ДЕСЯТИЛЕТИЙ _____	80
Булыгин А.М., Воронцов А.А. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ТЕЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ ПРОФИЛИРУЮЩИХ БУЕВ НА ПРИМЕРЕ ЧЕРНОГО МОРЯ _____	84
Яхрушин В.Н. ПРИМЕНЕНИЕ EMD МЕТОД ДЛЯ ПРОГНОЗА ТРЕНДОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА _____	88
Бышев В.И., Гусев А.В., Сидорова А.Н. О МУЛЬТИДЕКАДНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ОКЕАН – АТМОСФЕРА – КОНТИНЕТ _____	92
Рябов Е.В., КОЛЛАБОРАЦИЯ ВАИКАЛ-GVD «ВАИКАЛ-5D» - ПРИБОР ДЛЯ ДОЛГОВРЕМЕННОГО МОНИТОРИНГА ГИДРООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛУБИННЫХ ВОД ОЗ. БАЙКАЛ _____	95
Арутюнян Д.А., Жмур В.В. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПОВЕДЕНИЯ КВАЗИГЕОСТРОФИЧЕСКОГО ВИХРЯ НА ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ПОТОКЕ С ВЕРТИКАЛЬНЫМ СДВИГОМ _____	101
Арутюнян Д. А., Жмур В. В. ЭВОЛЮЦИЯ ЭНЕРГИИ КВАЗИГЕОСТРОФИЧЕСКОГО ЭЛЛИПСОИДАЛЬНОГО ВИХРЯ ПРИ ЕГО ВЫТЯГИВАНИИ ВНЕШНИМИ ТЕЧЕНИЯМИ _____	104
Буланов В.А АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРХНЕГО СЛОЯ МОРЯ, НАСЫЩЕННОГО ПУЗЫРЬКАМИ _____	108
Казаков Д. А., Маркова Н.В., Чухарев А. М., Дымова О. А. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО РАСЧЕТУ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ С ИНТЕГРАЦИЕЙ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ПО НАТУРНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ОБМЕНА _____	112
Ковалев Г.А., Амбросимов А.К. ОБ ОЦЕНКЕ ОБЪЕМОВ ПЕРЕНОСА ВОД ПО РАЗРЕЗАМ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В НАЧАЛЕ ЗИМНЕГО ПЕРИОДА 2023-2024 ГОДА _____	115
Амбросимов А.К., Ковалев Г.А., Щука А С. ОБ ОТДАЧЕ ТЕПЛА ФАВ В ПРОЛИВАХ ПРИ ДВИЖЕНИИ НА ВОСТОК ВДОЛЬ СКЛОНА СЛО _____	120

Ковалев Г. А. СРАВНЕНИЕ ПОТОКОВ ВОДНЫХ МАСС НА РАЗРЕЗЕ МЕЖДУ ЗЕМЛЁЙ ФРАНЦА-ИОСИФА И НОВОЙ ЗЕМЛЁЙ В ЗИМНИЙ И ЛЕТНИЙ ПЕРИОДЫ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 93-ГО И 96-ГО РЕЙСОВ НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»	125
Химченко Е.Е., Серебряный А.Н., Попов О.Е. ОСОБЕННОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ВНУТРЕННИХ ВОЛН РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ И ТОЧЕЧНЫМИ ДАТЧИКАМИ ТЕМПЕРАТУРЫ	127
Герасимов В.В., Зацепин А.Г., Кандауров А.А., Сергеев Д.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕЛКОМАСШТАБНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ГЕНЕРИРУЕМОЙ КОЛЕБЛЮЩИМИСЯ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ СТЕРЖНЯМИ В ВОДНОЙ СРЕДЕ МЕТОДОМ PIV (ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ)	131
Зацепин А. Г., Герасимов В. В., Елкин Д. Н. «ЛАБОРАТОРНЫЕ» ПРИМЕРЫ ОБРАЗОВАНИЯ КОГЕРЕНТНЫХ СТРУКТУР В СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ И ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ ЗА СЧЕТ НЕЛИНЕЙНЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ	135
Аракелян Е.М., Жмур В.В., Чхетиани О.Г. КОМПОЗИТНАЯ ВИХРЕВАЯ МОДЕЛЬ БОЛЬШОГО КРАСНОГО ПЯТНА ЮПИТЕРА	139
Вязилова Н.А. ВНЕТРОПИЧЕСКИЕ ЦИКЛОНЫ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ И КОЛЕБАНИЯ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ	142
Соколов А. Н. СРАВНЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО И НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПОДХОДОВ К ИССЛЕДОВАНИЮ ВРЕМЕННЫХ ТРЕНДОВ	146
Федотов Г.А. О ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ МОРСКОЙ ВОДЫ ПРИ НЕКОНТРОЛИРУЕМОЙ ОРИЕНТАЦИИ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ	150
Зорин А.М. ТУРБУЛЕНТНЫЙ ОБМЕН АТМОСФЕРЫ И ПОВЕРХНОСТИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ	154
Двоеглазова Н. В. ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ ПРОНИКНОВЕНИЕ СОЛОНОВАТЫХ ВОД В РЕКУ ПРЕГОЛЮ (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ БАЛТИКА) В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЕЙСТВИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО (НАГОННОГО) МЕХАНИЗМА	159
Буланов А.В. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСКОЙ ВОДЫ	163
Павлова М.А., Глуховец Д.И., Артемьев В.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕКТРОВ ПОКАЗАТЕЛЯ РАССЕЯНИЯ НАЗАД ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЦВЕТЕНИЙ ФИТОПЛАНКТОНА	166
Гаревских Г.П., Липинская Н.А., Салюк П.А. ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР НА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА	170
Ростовцева В. В. НОВАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД ПО ДАННЫМ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ИХ СОСТАВА ПАССИВНЫМ ОПТИЧЕСКИМ ГИПЕРСПЕКТРОМЕТРОМ	173

Амбросимов А.К., Ковалев Г.А., Мельников В.А. МАСШТАБЫ ИЗМЕНЧИВОСТИ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЙ И ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ	177
Лебелев К.В., Попов А.П., Филошкин Б.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕПЛООБМЕНА ПОЛЯРНЫХ МОРЕЙ С АТМОСФЕРОЙ, АТЛАНТИЧЕСКИМ И СЕВЕРНЫМ ЛЕДОВИТЫМ ОКЕАНАМИ В МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТАХ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ АРГО	181
Куликов М.Е., Крылов А.А., Медведев И.П. НАТУРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ НА ШЕЛЬФЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ ПРИ ПОМОЩИ ПРИДОННЫХ ДАТЧИКОВ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ	185
Володин В.Д., Глуховец Д.И МАЛОГАБАРИТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ СПЕКТРАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЯРКОСТИ МОРЯ	189
Кудинов О.Б., Крыль М.В., Подгибайлов Е.А., Рябоконт Д.А. СВЯЗЬ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФFUЗНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА И МУТНОСТИ В ЧЕРНОМ МОРЕ ВЕСНОЙ 2023 ГОДА	193
Шатравин А.В., Химченко Е.Е. КОГЕРЕНТНАЯ ЗВУКОПОДВОДНАЯ СВЯЗЬ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ШЕЛЬФЕ С РЕЗКИМ СВАЛОМ ГЛУБИН	198
Родионов А.А., Шпилев Н.Н., Ванкевич Р.Е. ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКЕАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЛАБОРАТОРНОМ КОМПЛЕКСТЕ СПБФ ИО РАН	202
Здоровеннов Р.Э., Толстиков А.В. МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В БУХТЕ БЛАГОПОЛУЧИЯ (СОЛОВЕЦКИЕ ОСТРОВА, БЕЛОЕ МОРЕ) В ЛЕТНИЙ СЕЗОН 2024 Г.	206
Скиба Ю. Н. НЕЯВНЫЕ СХЕМЫ РАСЩЕПЛЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИ МЕЛКОЙ ВОДЫ, СОХРАНЯЮЩИЕ ПОЛНУЮ ЭНЕРГИЮ И МАССУ	210

ГЕОЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА, РЕСУРСЫ

Колесник А.Н., Босин А.А., Колесник О.Н., Янченко Е.А. ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ГРУНТОВЫХ ПРОБООТБОРНИКОВ	215
Ковачев С.А., Крылов А.А., Егоров А.В., Либина Н.В. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДАЛЬНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ РАЗНЫХ МАГНИТУД ПО ЗАПИСЯМ ДОННОГО СЕЙСМОГРАФА	217
Ковачев С.А., Крылов А.А., Либина Н.В., Миронюк С.Г. ОЦЕНКА ДОБРОТНОСТИ ЛИТОСФЕРЫ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ ПО ЗАПИСЯМ СЕЙСМОСТАНЦИИ ТИКСИ	221
Ковачев С.А., Крылов А.А., Либина Н.В., Миронюк С.Г. ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ УГВ ОБЪЕКТА В АКВАТОРИИ СРЕДНЕГО КАСПИЯ	225

Будников А.А., Ильинский Д.А., Рогальский Л.Ю., Малахова Т.В. ПОДВОДНЫЙ ШИРОКОПОЛОСНЫЙ РЕГИСТРАТОР АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ: ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАНОВЫХ СИПОВ	230
Подымов И.С., Подымова Т.М. ЛОКАЛЬНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ФОНЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ	234
Алисолтанов А.А., Барькин А.А., Мещанкина М.Ю., Мухин А.А., Щербина М.А., Медведев И.П. ЛОКАЛЬНАЯ СИСТЕМА РАННЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ЦУНАМИ	238
Либлин Н.В., Путанс В.А., Ковачев С.А. ОДИН ИЗ МЕТОДОВ ВЫДЕЛЕНИЕ ЛИНЕАМЕНТОВ ПО ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА ДНА НА ПРИМЕРЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ	241
Ананьев Р.А., Дмитриевский Н.Н., Росляков А.Г. ОПАСНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ШЕЛЬФЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ ПО ДАННЫМ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	245
Шадрина Д.А. Курдин М.Г. Успенская Т.Ю. МЕТОДОЛОГИЯ ИЗУЧЕНИЯ ФАЗ, КОНЦЕНТРИРУЮЩИХ РЭЭ, В ОСАДКАХ	248
Трифимов А.Г., Губанищев М.А., Анциферов М.Ю. ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА РАЗРЕЗЕ «КОЛЬСКИЙ МЕРИДИАН»	252
Гурова Ю. С., Гуров К. И., Медведев Е. В., Орехова Н. А. ОКИСЛИТЕЛЬНО - ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА	256
Сажнева А.Э., Шрейдер А.А., Клюев М.С, Бреховских А. Л., Ракитин И. Я., Кононов М. В., Евсенок Е. И. КАЙНОЗОЙСКАЯ КИНЕМАТИКА ОКЕАНИЧЕСКОЙ КОРЫ ЮГА КОТЛОВИНЫ АМУНДСЕНА: ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЭВОЛЮЦИИ (ЕВРАЗИЙСКИЙ БАССЕЙН, СЕВЕРНЫЙ ЛЕДОВИТЫЙ ОКЕАН)	259
Ильинский Д.А. БЕЗБАЛЛАСТНЫЕ САМОВСПЛЫВАЮЩИЕ ДОННЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ – НОВЫЙ ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЗД СЕЙСМОРАЗВЕДКИ В ТРАНЗИТНОЙ ЗОНЕ	262
Буданов Л. М., Жамойда В. А., Сергеев А. Ю., Рябчук Д. В., Неевин И. А., Фатеев Д. С. ПРЕДВОРИТЕЛЬНАЯ СЕЙСМОТСТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ СХЕМА ПЛИОЦЕН-ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНОВ БЕРИНГОВА МОРЯ	267
Гуров К. И., Гурова Ю. С., Медведев Е. В., Орехова Н. А., Вареник А. В. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРОВЫХ ВОД ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ	272
Румянцева А. К., Буданов Л. М., Жамойда В. А., Фатеев Д. С., Дорохов Д. В., Дудков И.Ю. КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРЕДПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ ГЕНЕЗИС ПОКМАРКОВ КОПОРСКОГО ЗАЛИВА (БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ)	275
Бахмутов В.Ю., Гордеева Е.А., Костенич А.В., Ставров К.Г. ГИДРОГРАФИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВНЕШНЕЙ ГРАНИЦЫ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В АРКТИКЕ	281

ОПЕРАТИВНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ

Серикова В. С., Свергун Е. И., Зимин А. В. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ С МОБИЛЬНО РАЗВЕРТЫВАЕМОГО ПОЛИГОНА	285
Гузевич С.Н. УСЛОВИЯ ДОСТОВЕРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРОСТРАНСТВЕ	288
Лискин В.А., Руссак Ю.С., Пронин А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПО ГИДРОАКУСТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ В ОКЕАНОЛОГИИ	292
Юровский Ю.Ю., Кудинов О.Б. ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ВОЛНОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ БУЕВ НА ЛЕГКОДОСТУПНОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ	296
Злобина Н.В., Касаткин С.Б. ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОСВЕЩЕНИЯ ПОДВОДНОЙ ОБСТАНОВКИ	300
Лискин В.А., Тихонова Н.Ф., Руссак Ю.С. РАЗРАБОТКА И АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ТЕЧЕНИЙ	301
Глитко О.В., Свергун Е.И., Глухов В.А. РАЗРАБОТКА И НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ МАКЕТА АВТОНОМНОЙ МЕТЕОСТАНЦИИ	305
Коваленко В.В. АППАРАТЫ - ПЛАНЕРЫ В ЗАДАЧАХ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ, ОРИЕНТИРОВАННОЙ НА ПОДДЕРЖКУ ПОДВОДНОГО НАБЛЮДЕНИЯ	309
Зацепин А.Г., Подымов О.И., Сильвестрова К.П., Мурзакова Ю.В. ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ СРЕДНЕДЕКАДНЫХ ПРОФИЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ДЕЯТЕЛЬНОМ СЛОЕ ЧЕРНОГО МОРЯ НА АКВАТОРИИ ПОЛИГОНА «ГЕЛЕНДЖИК» И МЕХАНИЗМЫ ИХ ЭВОЛЮЦИИ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА	314
Левченко Д.Г. СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ БУЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА В УСЛОВИЯХ КУРИЛО-КАМЧАТСКОГО СЕЙСМОАКТИВНОГО РЕГИОНА	318
Багаев А.В., Юровский Ю.Ю., Манилюк Ю.В., Белоконов А.Ю., Кальпа В.А. СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ В БУХТАХ СЕВАСТОПОЛЯ ПО ДАННЫМ БЕРЕГОВЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ УРОВНЕМЕРОВ	322
Алескерова А.А., Кубряков А.А., Станичный С.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКИХ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ	326
Коржуев В. А., Чухарев А., Павлов М.И., Казаков Д.А., Давидович О. Р. ДОРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ СВОБОДНОПАДАЮЩЕГО МИКРОСТРУКТУРНОГО ЗОНДА ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ЕГО ДВИЖЕНИЯ	328

Зацепин А.Г., Веремьев В.И., Горбацкий В.В., Григорьев А.В., Дивинский Б.В., Коваленко В.В., Кременецкий В.В., Кубряков А.И., Куклев С.Б., Мысленков С.А., Островский А.Г., Телегин В.А.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИГОНА «ГЕЛЕНДЖИК» ИОРАН ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ	333
Гиппиус Ф.Н. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ И ПОВТОРЯЕМОСТЬ ШТОРМОВОГО ВОЛНЕНИЯ В ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЯХ ЧЁРНОГО МОРЯ	337
Островский А.Г., Кочетов О.Ю., Швоев Д.А., Зацепин А.Г. НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЗОНДА-ПРОФИЛЕМЕРА «ВИНЧИ»	341
Стороженко А.В. ИССЛЕДОВАНИЯ РАССЕЯНИЯ ЗВУКА НА ПОДВОДНЫХ ПУЗЫРЬКОВЫХ ФАКЕЛАХ В ЯПОНСКОМ МОРЕ	345
Кочетов О.Ю. ПРОТОКОЛ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА ДЛЯ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОЛОГИИ	349
Носов А. В., Тихонова Н.Ф. РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УКБ АНТЕННЫ	354

ГИДРОФИЗИКА

УДК 551.465.4

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ДВОЙНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО ЭКВАТОРА В АТЛАНТИЧЕСКОМ ОКЕАНЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВНУТРИТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЫ КОНВЕРГЕНЦИИ

Перескоков А.И.

*Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации-Мировой центр данных,
ул. Королева, 6, 249035, г. Обнинск Калужской обл.,
8(48439)74-131, peres@meteo.ru*

FORMATION OF A DOUBLE THERMAL EQUATOR IN THE ATLANTIC OCEAN UNDER THE INFLUENCE OF AN INTERTROPICAL CONVERGENCE ZONE

Pereskokov A.I.

*All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information-
World Data Center, 6, Korolov str., Obninsk, Kaluga reg., 249035*

Представлены свидетельства, подтверждающие существование “двойного” термического экватора в Атлантическом океане. Установлена тесная связь между максимумами температуры и минимумами солености по всей их протяженности. Предложена гипотеза возникновения термического экватора в океане.

Evidence supporting the existence of a double thermal equator in the Atlantic Ocean is presented. A close relationship between temperature maxima and salinity minima along their entire length is established. The hypothesis of a thermal equator origine in the ocean is proposed.

Ключевые слова: термический экватор, температура, соленость, приповерхностный слой, внутритропическая зона конвергенции, Атлантический океан

Key words: thermal equator, temperature, salinity, near-surface layer, intertropical convergence zone, Atlantic ocean

Одним из климатологических феноменов низких широт Мирового океана является формирование *термического экватора (ТЭ)*, не совпадающего с положением географического экватора. В “Российском гидрометеорологическом энциклопедическом словаре” [6] приводятся два определения термического экватора. Согласно одному из них ТЭ – “линия, соединяющая точки с наиболее высокой средней температурой воздуха (годовой или определенного месяца) на Земле”. По аналогии с этим метеорологическим термином линию (узкую полосу) наибольших температур воды на поверхности океана также называют термическим экватором. Большинство исследователей считают, что положение ТЭ в открытом океане находится в тесной зависимости от хода процессов в области относительно низкого атмосферного давления приэкваториальных широт, называемой *внутритропической зоной конвергенции (ВТЗК)*, поскольку одновременно с ней испытывает сезонную миграцию [1, 2, 4].

До настоящего времени необходимой ясности в вопросах о пространственных особенностях ТЭ, конкретных механизмах, способствующих его формированию и даже в их количестве в Атлантическом океане нет и сейчас. Для преследуемых в настоящей работе этих целей, использованы многочисленные глубоководные измерения температуры и солёности, собранные и систематизированные в Центре океанографических данных ВНИИГМИ-МЦД, позволяющие обойтись без использования объективной горизонтальной интерполяции, неизбежно сглаживающей типичные для низких широт термохалинные различия и часто приводящей к необоснованным построениям.

На рис. 1 показано квазистационарное в климатическом аспекте пространственное расположение экстремумов температуры воды на поверхности Экваториальной Атлантики с шагом в 1° по долготе.

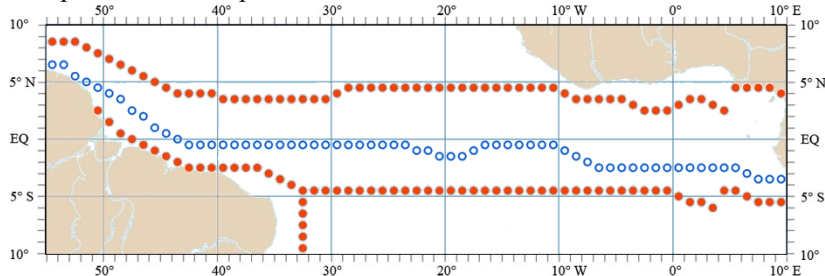


Рис. 1. Среднее годовое положение экстремальных значений температуры на поверхности экваториальной зоны Атлантики.

(●) – максимумы, (○) – минимумы температуры.

В первую очередь, обращает на себя внимание наличие *двойного* термического экватора (северного и южного), поскольку широтно ориентированные полосы максимальных значений *температуры поверхности океана (ТПО)* обнаруживаются в обоих полушариях. Заметим, что авторы работы [3] при исследовании изменчивости *ТЭ* в Атлантике по климатическим данным [7] его южную ветвь не выявили. Между ярко выраженным северным *ТЭ*, где наиболее высокая среднегодовая *ТПО* превышает $28.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ в диапазоне $12\text{--}18^{\circ}$ з.д., и слабо выраженным южным *ТЭ*, где *ТПО* в таком же диапазоне долгот не достигает и $26.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, располагается приэкваториальная область с относительно низкими ее значениями. Среднегодовое положение термических экваторов в центральной части открытого океана, от 10° з.д. до $28\text{--}30^{\circ}$ з.д. симметрично относительно географического экватора и наиболее устойчиво, поскольку они не выходят за пределы $4\text{--}5^{\circ}$ широты. Некоторое отклонение от зональности наблюдается у американского берега, где северный *ТЭ* заметно изгибается к северу, переходя 5° с.ш. Отметим, что для практических целей важно, что при перегреве участков *ТЭ* выше $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ в поясе широт $5\text{--}25^{\circ}$ с.ш. образуются тропические ураганы [4].

В Гвинейском заливе положение *ТЭ* следует береговым очертаниям. В районах, где имеются крупные источники поверхностного опреснения (реки Нигер, Ориноко и Амазонка) полосы максимальных значений *ТПО* “прижимаются” к берегам. Отчетливо виден проникающий до экватора поток вод повышенной температуры ($\sim 27.8\text{ }^{\circ}\text{C}$) из района южного антициклонического круговорота.

Другой особенностью поля *ТПО* в экваториальной зоне является экваториальный минимум температуры, наиболее хорошо выраженный в восточной части океана. По нашему мнению, эта полоса относительно холодной воды является наведенной, т.е. “вторичным” образованием, из-за наличия двух соседних максимумов *ТПО* по обе стороны экватора.

Важнейшим гидрологическим индикатором положения над океаном *ВТЗК*, характеризующейся мезомасштабными облачными скоплениями и обильными осадками, является соленость поверхностных вод. При сопоставлении пространственного расположения климатических зон максимальных значений температуры и минимальных значений солености, отражающих преобладание осадков над испарением, обнаруживается их

замечательное совпадение в приповерхностных водах даже вблизи береговых контуров, Точное положение *ВТЗК* над *ТЭ* дает, как нам кажется, ключ к пониманию причины появления последнего в океане.

На любом участке *ТЭ* периоды ясной и дождливой, так же как штилевой и шквальной, погоды чередуются. Поэтому можно назвать две причины, по которым, на наш взгляд, образуется *ТЭ*. Первая и главная из них – “эффект осадков”, заключающийся в повышении гидростатической устойчивости тонкого приповерхностного слоя воды за счет распреснения ливневыми осадками, что препятствует конвекции и перемешиванию с нижележащей толщей вод, и последующим более интенсивным солнечным прогревом этого слоя днем в штилевую и слабовеетренную погоду [5]. Вторая причина состоит в том, что частые туманы и низкая облачность в полосе *ТЭ* уменьшают потери за счет эффективного радиационного охлаждения верхнего слоя воды. Все это приводит к аккумулятивной трансформации по глубине поступающего в океан солнечного тепла и экстремальным перегревам приповерхностного слоя воды в полосе *ТЭ*.

В свете изложенного можно дать следующее определение феномена термического экватора в океане: *термический экватор – зонально ориентированная узкая полоса, опоясывающая весь океан, с наиболее высокой температурой, обусловленной интенсивной аккумуляцией солнечного тепла тонким распресненным приповерхностным слоем вод под внутритропической зоной конвергенции.*

ЛИТЕРАТУРА

1. Белевич Р.Р. изменчивость термохалинных вод Тропической Атлантики. – М.: Гидрометеиздат, 1989. – 113 с.
2. Бубнов В.А. Циркуляция вод экваториальной зоны Мирового океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 180 с.
3. Галёркин Л.И., Гриценко А.М., Панфилова С.Г., Ямпольский А.Д. Сезонная изменчивость термического экватора в Атлантике // Доклады Академии наук. – 2000. – Т. 370. – № 6. – С. 822–827.
4. Гилл А. Динамика атмосферы и океана: В 2-х томах. Т 2. Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 415 с.
5. Гинзбург А.И., Зацепин А.Г., Складов В.Е., Федоров К.Н. Эффекты осадков в приповерхностном слое океана // Океанология. – 1980. – Т. 20. – Вып. 5. – С. 828 – 836.

6. Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь / Под ред. А. И. Бедрицкого. – СПб.; Москва: Летний сад, 2009. – Т. III (Р–Я). – 216 с.
7. Levitus S., Boyer T.P. World Ocean Atlas 1994, V.4. – Wash. (DC): NOAA, 1994. – 117 p.

УДК 551.466.65

**КВАЗИИНЕРЦИОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ
В ЗАЛИВЕ ПОСЬЕТА (ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО
ЯПОНСКОГО МОРЯ) ПО ДАННЫМ ТЕРМОГИРЛЯНД**

**Трусенкова О.О., Ярошук И.О., Кошелева А.В., Самченко А.Н.,
Пивоваров А.А., Дубина В.А.**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО
РАН, 690041, Владивосток, ул. Балтийская, 43, 8 (423) 231-1400,
troliia@poi.dvo.ru*

**NEAR-INERTIAL TEMPERATURE OSCILLATIONS IN POSYET BAY
(PETER THE GREAT BAY, THE SEA OF JAPAN) FROM
THERMOSTRING DATA**

*Trusenkova O.O., Yaroschuk I.O., Kosheleva A.V., Samchenko A.N.,
Pivovarov A.A., Dubina V.A.,
V.I.Ilichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch, Russian
Academy of Sciences,
43, Baltiyskaya Street, Vladivostok, 690041, Russia.*

По данным четырех термогирлянд, установленных на донных станциях на шельфе залива Посьет (залив Петра Великого Японского моря) в октябре 2022 г., установлено, что наиболее интенсивными были аномалии температуры квазиинерционного масштаба, перемещавшиеся поперек изобат от больших к меньшим глубинам со скоростями 0,44–0,55 м/с. Были выявлены полусуточные аномалии температуры, перемещавшиеся в том же направлении со скоростями около 1 м/с. Перемещение температурных аномалий, сопровождающее колебания термоклина, интерпретировано как распространение внутренних волн от глубокого моря и континентального склона к полигону.

Using data from four thermostings moored at the Posyet Bay shelf (Peter the Great Bay, the Sea of Japan) in October 2022, it is found that near-inertial temperature anomalies were the most intense and moved onshore with the speeds of 0.44–0.55 m/c. Semidiurnal temperature anomalies were also found, moving onshore with the speeds of about 1 m/c. The moving temperature anomalies are related to internal waves propagating from the deep sea and slope to the shelf.

Ключевые слова: термогирлянда, температура, квазиинерционные и полусуточные колебания, внутренние волны.

Key words: thermostring, temperature, near-inertial and semidiurnal oscillations, internal waves.

На гидрофизическом полигоне ТОИ ДВО РАН у восточного берега залива Посъет, расположенного в юго-западной части залива Петра Великого Японского моря (рис. 1а), в течение многих лет проводятся исследования, значительная часть которых посвящена внутренним волнам. Внутренние волны, приходящие из открытого моря или формирующиеся над континентальным склоном к югу от залива, осуществляют водообмен между открытым морем и шельфом, диапикническое перемешивание и диссипацию. Что касается долгопериодных волн, при анализе данных полигона внимание уделялось высокоамплитудным событиям (внутренним борам и солитонам) или волнам полусуточного диапазона (см. обзор и оригинальные результаты в [1]). Вместе с тем, важным классом являются квазиинерционные (КИ) волны с частотами, близкими к инерционному пределу [2]. В этой связи актуален анализ колебаний термоклина по данным измерений на полигоне ТОИ и оценка временных масштабов, что и является целью данной работы.

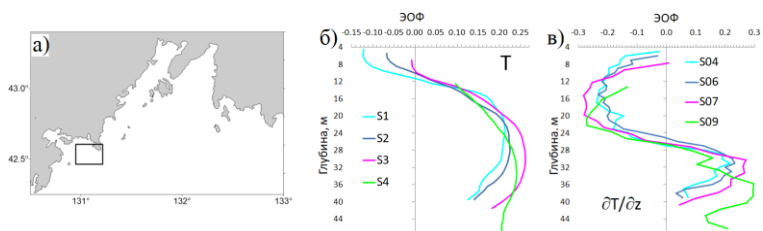


Рис. 1. Залив Петра Великого; полигон ТОИ показан прямоугольником (а); ЭОФ 1 по температуре (б) и градиенту температуры (в) для станций S1 – S4.

Четыре донных станции (S1 – S4), оснащенные термогирляндами, были установлены вдоль трассы поперек изобат на полигоне ТОИ в период 3–14 октября 2022 г. Измерительный комплекс и первичная обработка данных обсуждаются в [1]. Здесь используются данные о температуре с дискретностью 1 мин по времени и 1–1,5 м по глубине, по которым рассчитан ее вертикальный градиент. Для каждой станции выполнены разложения по эмпирическим ортогональным функциям (ЭОФ) температуры и градиента температуры в координатах глубина – время. Мода 1 по температуре учитывает 48–66 % дисперсии данных, а мода 1 по градиенту учитывает 24–29 %. ЭОФ 1 представляют собой вертикальные профили (рис. 1б, в) и описывают изменения вертикальной стратификации, т.е. подъем или опускание термоклина, поскольку временные функции (главные компоненты; ГК 1) по температуре и ее вертикальному градиенту изменяются согласованно.

Для оценки временной изменчивости были рассчитаны вейвлет-спектры, причем совместные спектры ГК1 по температуре и ее градиенту оказались информативнее, чем индивидуальные, и сходными для всех станций. Наиболее интенсивными были колебания с периодами 16–18 ч, которые преобладали в спектре большую часть времени (см. пример для S2 на рис. 2а), что отражается и в осредненном по времени спектре (рис. 3а). Период этих колебаний возрастал с уменьшением глубины моря от S4 к S1 (рис. 3а), где он переходил инерционный предел (17,7 ч на широте полигона). Красный сдвиг частоты КИ волн происходит в зонах антициклонической относительной завихренности течений [3]. На инфракрасном изображении со спутника Landsat-8 в заливе Посьета от 5 октября 2022 г. зарегистрирована грибовидная структура; антициклонически изогнутые струи в ее восточной части захватывали полигон, что объясняет красный сдвиг.

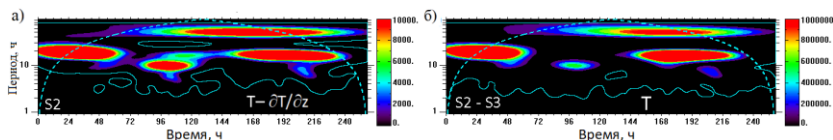


Рис. 2. Совместные вейвлет-спектры ГК 1 по температуре и ее градиенту на S2 (а) и по температуре между S2 и S3 (б).

В вейвлет-спектрах имеются также максимумы на полусуточном масштабе (9–12 ч), которые преобладали на 72–120 ч

измерений, когда КИ колебания ослабевали; они были наиболее интенсивны на второй по глубине станции S2 (рис. 2а, 3а). Как в исходных, так и в средних спектрах имеются двухсуточные максимумы; представляется правомерным трактовать эту частоту как разностную между полусуточной и КИ частотами.

Совместные вейвлет-спектры ГК 1 по температуре между соседними станциями (см. пример на рис. 2б) позволили оценить скорость перемещения аномалий температуры, которая вдоль всей трассы составила 0,44–0,55 и 0,95–1,11 м/с для КИ и полусуточных колебаний соответственно. Оценки скорости на двухсуточном масштабе различаются на порядок величины с уменьшением глубины моря, составляя 1,17 и 0,15 м/с для пар S4 – S3 и S3 – S2 соответственно; причины этого торможения остаются неясными.

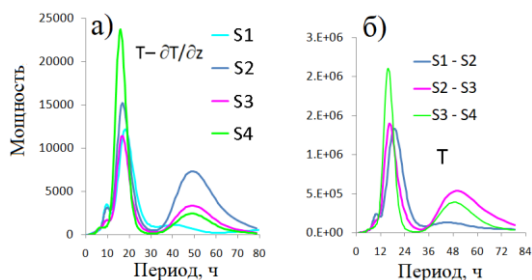


Рис. 3. Осредненные по времени совместные вейвлет-спектры ГК 1 по температуре и ее градиенту (а) и по температуре на соседних станциях (б).

Перемещение температурных аномалий, сопровождающее колебания термоклина, можно объяснить распространением внутренних волн от глубокого моря и континентального склона к полигону ТОИ, причем в первой половине октября 2022 г. преобладали волны квазиинерционного масштаба.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yaroshchuk, I. Observation and Modeling of Nonlinear Internal Waves on the Sea of Japan Shelf / I. Yaroshchuk, V.Liapidevskii, A.Kosheleva, G. Dolgikh, A.Pivovarov, A. Samchenko, A. Shvyrev, O.Gulin, R. Korotchenko, F. Khrapchenkov // J. Mar. Sci. Eng. – 2024. – No. 12. Artno. 1301.

2. Alford, M.H. Near-Inertial Internal Gravity Waves in the Ocean / M.H. Alford, J.A. MacKinnon, H.L. Simmons, J.D. Nash // Annual Review of Marine Science. - 2016. - Vol. 8. - P. 95-123.
3. Kunze E. Near-Inertial Wave Propagation in Geostrophic Shear // J. Phys. Oceanogr. - 1985. - V. 15. - N. 5. - P. 544-565.

УДК 551.465

**СЕЗОННЫЕ И МЕЖГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ
ТЕЧЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫЕ НА ОСНОВЕ
УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ВАРИАНТА МОДЕЛИ МГИ
И АССИМИЛЯЦИИ ДАННЫХ В ЛЕТНИЙ И
ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ СЕЗОНЫ 2016 И 2017 Г.**

Евстигнеева Н. А., Демышев С. Г., Дымова О. А.

*Морской гидрофизический институт РАН,
299011, Севастополь, Капитанская ул. 2, +7 8692 54 52 41
naevstigneeva@yandex.ru*

**SEASONAL AND INTERANNUAL CHANGES IN THE STRUCTURE
OF CURRENTS OBTAINED ON THE BASIS OF AN IMPROVED
VERSION OF THE MHI MODEL AND DATA ASSIMILATION IN
SUMMER AND AUTUMN-WINTER SEASONS OF 2016 AND 2017**

Evstigneeva N. A., Demyshev S. G., Dymova O. A.

*Marine Hydrophysical Institute of RAS,
299011, Sevastopol, Kapitanskaya st. 2, +7 8692 54 52 41*

Работа посвящена анализу результатов численного моделирования циркуляции Черного моря на основе ассимиляции в гидродинамической модели данных наблюдений температуры и солёности в периоды проведения экспедиций 2016–2017 гг.

The paper presents the analysis of the results of numerical modeling of the Black Sea circulation on the basis of the assimilation of observational data of temperature and salinity in the hydrodynamic model during the periods of expeditions in 2016–2017.

Ключевые слова: Черное море, численное моделирование, ассимиляция данных наблюдений, мезомасштабные и субмезомасштабные вихри.

Key words: Black Sea, numerical modeling, assimilation of observational data, mesoscale and submesoscale eddies.

Целью работы являлся анализ особенностей циркуляции в северной части Черного моря в зависимости от сезона и года на основе ассимиляции в гидродинамической модели данных наблюдений температуры и солёности для четырех периодов времени (летний сезон 2016 г., осенне-зимний сезон 2016 г., летний сезон 2017 г., осенне-зимний сезон 2017 г.). Для изучения полученных особенностей динамики течений рассчитывались энергетические характеристики циркуляции и анализировались вертикальные разрезы в поле плотности.

В используемой численной модели [1], разработанной в Морском гидрофизическом институте, учитывались новые схемы аппроксимации адвективных слагаемых в уравнениях переноса тепла и соли, которые обеспечивали сохранение одновременно температуры в первой и в n -й ($n > 1$) степени и солёности в первой и m -й ($m > 1$) степени [2]. По результатам вспомогательных экспериментов были выбраны значения $n=5$, $m=5$, при которых отклонения от данных наблюдений были минимальны. Пространственное разрешение по горизонтали составляло $\sim 1,6$ км, по вертикали использовалось 27 горизонтов (z -уровней). Шаг по времени выбран 96 с. Численные эксперименты были проведены с 28 июня по 18 июля 2016 г., с 15 ноября по 5 декабря 2016 г., с 13 июня по 3 июля 2017 г., с 14 ноября по 5 декабря 2017 г. для всей акватории Черного моря. Для усвоения данных четырех рейсов на НИС «Профессор Водяницкий» (температура и солёность морской воды до глубины ~ 1000 м), взятых из Банка океанографических данных МГИ (<http://bod-mhi.ru/ru/index.shtml>), применялась процедура четырехмерного анализа, основанная на фильтре Калмана с учетом неоднородности и неизотропности ошибок оценок полей температуры и солёности [3]. Коэффициенты турбулентного обмена импульсом и диффузии по вертикали рассчитаны в соответствии с параметризацией Меллора-Ямады 2.5, горизонтальная диффузия и вязкость описывались бигармоническим оператором Лапласа с постоянными коэффициентами. Для задания атмосферного форсинга использовались данные атмосферного реанализа ERA5 с разрешением $(1/4)^\circ$.

В качестве иллюстрации на рис. 1 представлены рассчитанные поля течений на конкретную дату для четырех экспериментов.

По результатам расчетов в летний сезон 2016 г. Основное черноморское течение (ОЧТ) представляло собой меандрирующий поток вдоль Крымского побережья. Между 33 и 34° в.д. сформировался антициклонический вихрь с радиусом около 40 км, который сместился в течение расчетного периода на северо-запад на $\sim 0.5^\circ$. Вдоль юго-восточного берега генерировались антициклонические вихри с радиусами около 25 км, которые перемещались в том же направлении, что и ОЧТ. В восточной глубоководной части моря наблюдалась область циклонической завихренности. Вдоль западного побережья в верхнем слое сформировался поток, направленный на север и северо-запад.

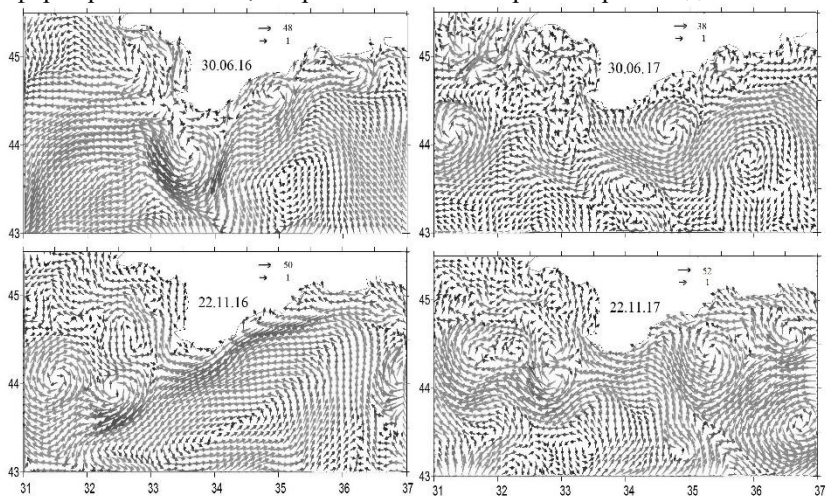


Рис. 1. Поля течений на горизонте 5 м в летний и осенне-зимний сезоны 2016 и 2017 гг.

В осенне-зимний сезон 2016 г. наблюдалась узкая струя ОЧТ, прижатая к Крымскому побережью и направленная на юго-запад, область циклонической завихренности в центральной глубоководной части области, в западной части области генерировались несколько вихрей различного масштаба и знака вращения, которые в течение расчета могли объединяться в один.

В летний сезон 2017 г. отмечено ослабление потока ОЧТ и формирование вихрей разных масштабов. Отчетливо проявился антициклонический вихрь между 31 и 32° в.д. с радиусом около 35 км. В восточной части области наблюдались две динамические зоны:

прибрежная зона с антициклонической завихренностью течений и область циклонической завихренности в глубоководной части моря.

В осенне-зимний сезон 2017 г. поток ОЧТ был направлен преимущественно на запад вдоль побережья, крупный циклонический вихрь у восточной границы и антициклонический вихрь у юго-восточного берега сохранялись все расчётное время. В западной части области при ослаблении ветра могли генерироваться 3–4 вихря различного масштаба, и они могли объединяться в один.

Таким образом, сезонные изменения проявились, в основном, в ослаблении меандрирования ОЧТ и увеличению скорости ОЧТ с лета к концу осени – началу зимы. Синоптическая изменчивость отмечена в изменении от съемки к съемке положения и количества антициклонических и циклонических вихрей. Межгодовые различия для летнего сезона заключались в следующем. Крупный антициклонический вихрь в 2016 г. сформировался между 33 и 34° в.д., а в 2017 г. – между 31 и 32° в.д. При усилении ветрового воздействия в 2017 г. развилось интенсивное вдольбереговое течение, и вихревые образования в верхнем слое воды были выражены слабее, чем в 2016 г. Межгодовые различия для осенне-зимнего сезона заключались в следующем. В 2016 г. ОЧТ имело вид узкой струи, прижатой к Крымскому побережью и направленной на юго-запад. В 2017 г. вдоль побережья фиксировался интенсивный поток ОЧТ, направленный на запад, с формированием антициклонических вихрей у берега и циклонических вихрей в глубоководной части; отчетливо проявился антициклонический вихрь у юго-восточных берегов и циклонический вихрь у восточной границы.

Из анализа энергетических характеристик для всех расчетов отмечена большая роль в формировании вихревых образований таких механизмов как бароклинная и сдвиговая неустойчивость течения, а также обтекание течением береговой черты при слабом ветре.

Расчеты гидрофизических полей на основе численной модели МГИ с ассимиляцией данных выполнены в рамках государственного задания по теме №FNNN-2024-0012 (шифр «Оперативная океанология»). Исследование энергетических характеристик циркуляции проведено в рамках государственного задания по теме №FNNN-2024-0001 (шифр «Океанологические процессы»).

ЛИТЕРАТУРА

1. Демьшев, С.Г. Численная модель оперативного прогноза течений в Черном море // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. - 2012. - Т. 48, № 1. - С. 37-149.

2. Демьшев, С.Г. Нелинейные инварианты дискретной системы уравнений динамики моря в квазистатическом приближении // Морской гидрофизический журнал. - 2023. - Т. 39 - № 5. - С. 557 - 583.
3. Кныш, В.В. Некоторые результаты четырехмерного анализа гидрофизических полей в Тропической Атлантике / В.В. Кныш, В.А. Моисеенко, В.В. Чернов // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. - 1988. - Т. 24. - № 7. - С. 744 - 752.

УДК 532.5:551.465

ВОЛНЫ НА ГРАНИЦЕ ВОДНОЙ СРЕДЫ И ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА: ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ И АСИМПТОТИКИ

Булатов В.В.¹, Владимиров И.Ю.²

¹ *Институт проблем механики им.А.Ю.Ишлинского РАН,
пр.Вернадского, 101-1, 119526, г. Москва, 8(903)722-0761,
internalwave@mail.ru*

² *Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 119997, г. Москва, 8(916)270-8520,
iyuvladimirov@rambler.ru*

Плавающий ледяной покров определяет динамическое взаимодействие между океаном и атмосферой, влияет на динамику морской поверхности и подповерхностных вод, так как в общем движении по вертикали участвует ледяной покров и вся масса жидкости под ним. В работе исследована фазовая структура волновых полей, возникающих на границе раздела льда и потока однородной жидкости конечной толщины при обтекании локализованного пульсирующего источника возмущений. Ледяной покров моделируется тонкой упругой пластиной, деформации которой малы, и пластина является физически линейной. Получено интегральное представление решения, приведены результаты расчетов дисперсионных зависимостей и фазовых картин для различных параметров волновой генерации. Показано, что основными параметрами, определяющими характеристики амплитудно-фазовых структуры волновых возмущений поверхности ледяного покрова, являются толщина льда, скорость потока, частота пульсаций. Численные расчеты демонстрируют, что при изменении скоростей потока, толщины льда и частоты происходит заметная качественная перестройка фазовых картин возбуждаемых дальних волновых полей на границе раздела льда и жидкости.

The floating ice sheet determines the dynamic interaction between the ocean and the atmosphere, affects the dynamics of the sea surface and subsurface waters, since the ice sheet and the entire mass of liquid under it participate in the general vertical movement. The paper investigates the phase structure of wave fields arising at the interface between ice and a flow of homogeneous liquid of finite thickness when flowing around a localized pulsating source of disturbances. The ice sheet is modeled by a thin elastic plate, the deformations of which are small, and the plate is physically linear. An integral representation of the solution is obtained, and the results of calculations of dispersion dependencies and phase patterns for various parameters of wave generation are presented. It is shown that the main parameters determining the characteristics of the amplitude-phase structure of wave disturbances of the ice sheet surface are ice thickness, flow velocity, and pulsation frequency. Numerical calculations demonstrate that when the flow velocities, ice thickness, and frequency change, there is a noticeable qualitative restructuring of the phase patterns of the excited long-range wave fields at the ice-liquid interface.

Характерным природным фактором полярных районов Мирового океана и замерзающих морских акваторий является наличие ледяного покрова. Плавающий ледяной покров, определяющий динамическое взаимодействие между океаном и атмосферой, влияет на динамику не только морской поверхности, но и подповерхностных вод. В общем движении по вертикали участвует как ледяной покров, так и вся масса жидкости под ним. Волновые процессы под ледяным покровом проявляются в его деформации, которая зависит от физико-механических свойств льда. Воздействием волн можно объяснить такие явления как образование трещин в сплошных ледяных полях, разрушение льда в прикромочных зонах, взламывание припая. Изучение волновых процессов в море с плавающим ледяным покровом актуально для изучения его реакции на различные гидродинамические возмущения, движущиеся средства, процессы распада ледяных полей в интересах судоходства, а также совершенствования методов дистанционного зондирования поверхности ледяного покрытия. Поверхностные возмущения ледяного покрова, которые могут быть зарегистрированы с помощью специальных радиолокационных и оптических систем, несут информацию не только об источниках возмущений, но и о характеристиках морской среды подо льдом. Плавающий ледяной покров, определяющий динамическое взаимодействие между океаном и атмосферой, влияет на динамику не только морской поверхности, но и подповерхностных вод, так как в общем движении по вертикали участвует как ледяной покров, так и вся масса жидкости под ним.

Одним из заметных источников возбуждения ледяного покрова могут являться интенсивные внутренние гравитационные волны, в частности колебания ледяного покрова за счет внутренних волн могут быть от нескольких сантиметров (прилив) до 2-3 метров (цунами), амплитуды возмущений льда до 30 см регистрировались при наличии ветровых волн. Обычно предполагается, что ледяной покров является сплошным (его горизонтальные масштабы превышают длины возбуждаемых волн), и при достаточно общих условиях моделируется тонкой упругой физически линейной пластиной, деформации которой малы. Для проведения прогнозных расчетов возмущений ледяного покрова можно подбирать параметры модели генерации так, чтобы приблизить смоделированную волновую систему к реально наблюдаемым в природных условиях картинам возмущения поверхности льда. Целью настоящей работы является изучение амплитудно-фазовых характеристик волновых полей, возникающих на границе ледяного покрова и потока бесконечно глубокой однородной жидкости, обтекающем локализованный источник. Численные расчеты показывают, что при изменении параметров волновой генерации (изменение скоростей потока и толщины льда) происходит заметная качественная перестройка фазовых картин возбуждаемых волновых полей на границе раздела льда и жидкости. Дисперсионные зависимости могут представлять замкнутые, всюду выпуклые кривые, а также могут иметь две пары точек перегиба, которые существуют только при достаточно малых значениях волновых чисел и расположены симметрично. Такое усложнение топологии дисперсионных зависимостей приводит к генерации дополнительной системы поперечных волн и появлению соответствующих пар волновых фронтов. Фазовые картины могут демонстрировать пространственные структуры типа «ласточкина хвоста», когда в фиксированной точке наблюдения происходит качественная перестройка одновременно приходящих волновых фронтов (рис.1). Наиболее интересными с практической точки зрения являются локальные экстремумы дисперсионных зависимостей, так как асимптотики дальних волновых полей в окрестности соответствующих волновых фронтов и каустик, отвечающих этим экстремумам, можно описать с помощью метода эталонных интегралов. Сложность топологии рассчитанных дисперсионных зависимостей требует для корректного асимптотического исследования дальних полей применения специального математического аппарата. Эволюция пространственной структуры наблюдаемых волновых картин возвышения ледяного покрова может

являться одним из признаков заметного изменения параметров морской среды: скоростей течения и толщины льда. Таким образом, исходя из результатов рассмотрения подобного класса задач и оценок пространственных масштабов возможного затухания волновых возмущений в природных условиях, представляется вполне обоснованным использование линейного приближения и метода стационарной фазы для расчета возмущений ледяного покрова и получения физически адекватных результатов. Построенные асимптотики дальних полей дают возможность эффективно рассчитывать основные характеристики волновых возмущений на границе раздела ледяного покрова и качественно анализировать полученные решения. Полученные асимптотические результаты с различными значениями входящих в них физических параметров позволяют провести оценку характеристик возмущений ледяного покрова, наблюдаемых в реальных морских условиях и рассчитывать дальние волновые поля, в том числе, и от нелокальных источников возмущений различной физической природы. В результате проведения модельных многовариантных расчетов по асимптотическим формулам смоделированная волновая система может быть приближена к наблюдаемым в натурных условиях волновым картинам, что дает возможность оценить физические параметры реальных источников в морской среде с ледовым покрытием и определить основные характеристики начальных возмущений, варьируя модельные значения исходных параметров. Таким образом, модели волновой генерации на поверхности раздела морской воды и льда могут быть не только верифицированы, но и использованы для проведения прогнозных оценок [1-3].

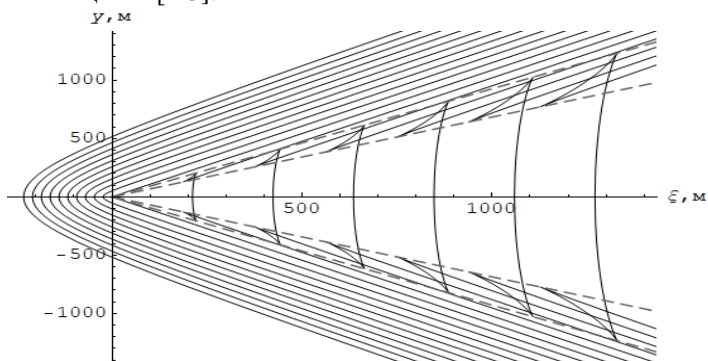


Рис. 1. Фазовая структура волновых полей на границе льда и водной среды от источника возмущений

Работа выполнена при темах государственных заданий № FFGN-2024-0005 (В.В.Булатов) и №FMWE-2024-0016 (И.Ю.Владимиров).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Булатов, В.В., Владимиров, Ю.В. Волны в стратифицированных средах. - М.: Наука, 2015. -735 с.
2. Morozov, E.G. Oceanic internal tides. Observations, analysis and modeling. Berlin, Springer, 2018.. – 317 pp.
3. Булатов, В.В., Владимиров, И.Ю., Морозов, Е.Г. Дальние поля возмущений поверхности раздела глубокого океана и ледяного покрова от локализованных источников // ДАН. Науки о земле. - 2023. – Т.512.- №2. - С.302-307.

УДК 551.465

ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЗКОГО И ШИРОКОГО ПОДВОДНОГО ХРЕБТА НА ПЕРЕМЕЩЕНИЕ АНТИЦИКЛОНИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ НАД НАКЛОННЫМ ДНОМ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ

Елкин Д.Н., Зацепин А.Г.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр.,
36, 117997, г. Москва, 8(499)124-63-92, dmelkin@mail.ru*

LABORATORY STUDY RESULTS OF THE IMPACT OF A NARROW AND WIDE UNDERWATER RIDGE ON THE MOVEMENT OF ANTICYCLONIC EDDIES OVER A SLOPING BOTTOM IN A ROTATING FLUID

Elkin D.N., Zatsepin A.G.

*P.P. Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences
dmelkin@mail.ru*

Проведены лабораторные опыты по исследованию влияния подводных хребтов (узких и широких) на перемещение вихрей в водном слое над наклонным дном в бассейне, расположенном на вращающейся платформе. Хребты замедляют перемещение вихрей, причем широкий хребет замедляет сильнее, чем узкий.

Laboratory experiments were conducted to study the impact of underwater ridges (narrow and wide) on the movement of eddies in the water layer above the inclined bottom in a tank located on a rotating platform. Ridges slow down the movement of eddies, and a wide ridge slows it down more than a narrow one.

При наблюдениях за эволюцией «Севастопольского» антициклонического вихря в Черном море, перемещающимся вдоль изобат над континентальным склоном в юго-западном направлении было обнаружено, что движение вихря замедляется в области подводного хребта, образованного локальным поднятием батиметрии между двумя каньонами – палеоруслем Дуная и западным палеоруслем Днепра. Цель работы: провести лабораторное исследование влияния подводных хребтов, как узкого, так и широкого, расположенных на наклонном дне и направленных вдоль склона, на антициклонические вихри, перемещающиеся вдоль изобат за счет топографического бета-эффекта [1, 2]. Хребет считается узким, если его ширина меньше диаметра вихря и широким - если много больше.

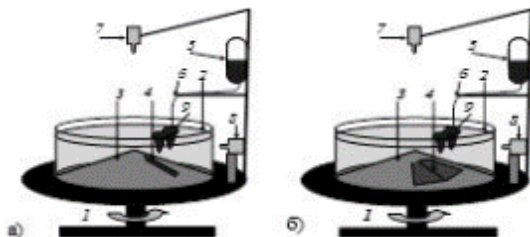


Рис.1 Схема экспериментальной установки: а) с узким хребтом; б) с широким хребтом. 1 – вращающаяся платформа; 2 – цилиндрический бассейн из оргстекла; 3 – конус; 4 – хребет; 5 – объемная бюретка с краном; 6 – трубка; 7 – видеокамера сверху; 8 – видеокамера сбоку; 9 – вытекающая из бюретки (источника) пресная вода и образующиеся под источником антициклонические вихри.

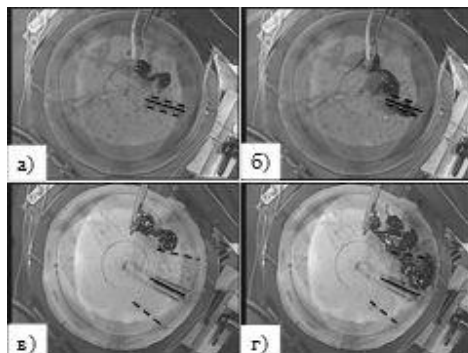


Рис. 2. Фотографии цепочек бароклиных вихрей, распространяющихся от источника, вид сверху: а, б – в опыте с узким хребтом: а) – $12T$; б) – $18T$; в, г – в опыте с широким хребтом: в) $18T$; г) $42T$, где T – период вращения платформы. Подкрашенная вода – пресная, соленость воды в бассейне $S=1\%$. Жирная линия – середина хребта, пунктирные линии – его границы.

Опыты проводились в цилиндрическом бассейне из оргстекла, размещенном на вращающейся против часовой стрелки платформе. Для создания наклонного дна в бассейн вставлен конус вершиной вверх, а его основание совпадает с нижним основанием цилиндра.. Угол между образующей конуса и горизонталью составлял 15° . Бассейн заполнялся выше вершины конуса однородной по плотности (солёности) водой, пресной, или с определенной солёностью, но не более 4% . Антициклонические вихри создавались расположенным вблизи поверхности воды в бассейне локальным источником пресной воды, подкрашенной красителем в синий цвет. Если в бассейне была пресная вода, то под источником образовывались баротропные вихри, если - солёной, то - бароклинные.

Опыты проводились на гладком конусе, а также с узким и широким хребтом (Рис. 1).

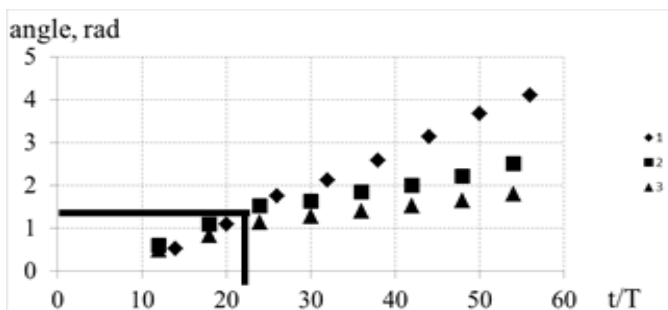


Рис. 3. Азимутальное (угловое) распространение фронта вихревого течения: 1 - без хребта, 2 - с узким хребтом, 3 - с широким хребтом. Горизонтальная черная линия – угловое расстояние от источника до местоположения хребта. Вертикальная черная линия – время достижения хребта фронтом вихревого течения.

Перед опытом включалось вращение платформы, и вода в бассейне раскручивалась до состояния твердотельного вращения. Началом опыта считался момент включения источника. Под ним образовывался антициклонический вихрь, достигавший дна в баротропном случае, а в бароклинном - до некоторой глубины. Однако и под бароклинным вихрем формировалась антициклоническая вихревая колонка, достигавшая дна. Вследствие топографического бета-эффекта [1, 2] баротропные и бароклинные вихри, достигая определенного диаметра «уходили» из под источника и перемещались над конусом в антициклоническом (западном) направлении. По поверхности водного слоя рассыпались мелкие бумажные пелетки, видеосъемка которых позволяла определить скорость течения.

После каждого опыта, на основе обработки данных видеосъемки, определялись следующие параметры: скорость перемещения вихрей; орбитальная скорость вращения воды в вихрях; радиус вихрей.

На рис. 2 показаны кадры видеосъемки распространения цепочки вихрей в антициклоническом направлении над конусом с узким (2 а, б) и с широким (2 в, г) хребтом. Влияние хребтов на скорость азимутального распространения вихрей представлено на рис. 3, на котором построены графики изменения углового положения первого вихря в цепочке в зависимости от безразмерного времени t/T , где t – текущее время, отсчитываемое от момента включения источника, а $T = 2\pi/\Omega$ - период вращения платформы, Ω - ее угловая скорость.

При пересечении хребта скорость распространения вихрей значительно уменьшается, а умеренная бароклинность не оказывает

существенного влияния на ее значение. Хребет способствует также ослаблению индивидуальных вихрей [3]. При этом влияние широкого хребта сильнее, чем узкого. Перед широким хребтом происходила практическая остановка вихрей и они «скапливались» перед ним, а вихревая цепочка существенно «уширялась». Примечательно, что после пересечения хребта скорость азимутального распространения вихрей не увеличивается, а сохраняет постоянное значение. Это означает, что хребет оказывает влияние на динамику вихревого движения в протяженной запрепятственной области. Физическая причина данного феномена нуждается в дальнейшем исследовании. Работа выполнена в рамках темы госзадания FMWE-2021-0002.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зацепин А.Г., Дидковский В.Л. Об одном механизме формирования мезомасштабных вихревых структур в склоновой зоне океана. – ДАН, 1996. Т.347. N1. С.109-112.
2. Зацепин А.Г., Дидковский В.Л., Семенов А.В. Автоколебательный механизм формирования периодической вихревой структуры от стационарного локального источника на наклонном дне во вращающейся жидкости. - Океанология. 1998. Т.37. N1.
3. Зацепин А. Г., Елкин Д. Н. Влияние подводного хребта на перемещение антициклонических вихрей над наклонным дном под действием топографического бетаэффекта: лабораторный эксперимент // Морской гидрофизический журнал. 2024. Т. 40, № 2. С. 298–311.

УДК 551.466

СВЯЗЬ ВЫСОТ ВОЛН В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ С СЕВЕРОАТЛАНТИЧЕСКИМ КОЛЕБАНИЕМ

Соколов А. Н.^{1,2}

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва, Нахимовский пр., д. 36, +7(499)124-13-01.*

² *Балтийский федеральный университет им. И. Канта, 236041, Калининград, ул. Александра Невского, 14, +7(4012)59-55-95, ansokolov@kantiana.ru*

RELATIONSHIP BETWEEN WAVE HEIGHTS IN THE BALTIC SEA AND THE NORTH ATLANTIC OSCILLATION

Sokolov A.N. ^{1,2}

¹ *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36, Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia.*

² *Immanuel Kant Baltic Federal University, 14, Alexandra Nevskogo str., 236041, Russia, ansokolov@kantiana.ru*

Рассмотрена корреляционная связь между среднегодовыми высотами волн в Балтийском море и североатлантическим колебанием. Показано, что такая связь существует и является статистически значимой как в рамках межгодовой, так и многолетней изменчивости.

The correlation between the average annual wave heights in the Baltic Sea and the North Atlantic Oscillation is considered. It is shown that such a relationship exists, is statistically significant both in the frame of interannual and long-term variability.

Ключевые слова: Балтийское море, значительная высота волны, индекс североатлантического колебания, коэффициент корреляции.

Key words: Baltic Sea, significant wave height, NAO index, correlation coefficient.

Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН (тема №FMWE-2024-0025).

Введение

Одним из глобальных факторов, влияющим на климат Северного полушария планеты Земля является североатлантическое колебание (North Atlantic Oscillation, NAO), численно характеризуемое индексом NAO. Индекс NAO вычисляется как отклонение от среднего значения разности давления между Азорским максимумом и Исландским минимумом. В частности, траектории и интенсивность циклонических вихрей над Атлантикой и морями Европы в значительной степени зависят от этого параметра (см., например, [1, 2]).

Влияние североатлантического колебания на высоты волн в Атлантике, Северном и Балтийском морях изучалось в большом количестве работ [3–6] и сомнений не вызывает, однако ряд вопросов остается дискуссионным. К таким вопросам относятся (1) какой из

методов осреднения индекса NAO показывает наилучшую корреляцию с высотами волн в Балтийском море и (2) каковы значения коэффициентов корреляция индекса NAO с высотами волн в рамках межгодовой и многолетней изменчивости.

Материалы и методы

В основу исследования были положены проведенные автором расчеты среднегодовых значительных высот волн в Балтийском море за период с 1979 по 2018 год [7, 8] и среднемесячные значения индекса NAO, находящиеся в открытом доступе сети Internet¹. Корреляционный анализ проводился методами Пирсона и Спирмена.

Работа проходила в два этапа. На первом этапе рассчитывались коэффициенты корреляции между временными сериями среднегодовых значительных высот волн в разных точках моря и временными сериями индекса NAO, осредненного за различные интервалы времени (за год, а также для различных сочетаний зимних месяцев: с ноября по март, с января по март и т.д.). Целью первого этапа было найти такой вариант осреднения, который дает самую высокую корреляцию между высотами волн и индексом NAO.

На втором этапе ставилась задача определить, какая корреляционная связь более сильная: индекса NAO и среднегодовых высот волн в рамках межгодовой изменчивости или индекса NAO и среднегодовых высот волн в рамках многолетней изменчивости. А также оценить, насколько отличаются коэффициенты корреляции в рамках межгодовой и многолетней изменчивости друг от друга. С этой целью рассчитывались коэффициенты корреляции между временными сериями индекса NAO, осредненного "оптимальным" методом, выявленным на первом этапе и временными сериями среднегодовых значительных высот волн, а также коэффициенты корреляции между скользящими пятилетними средними этих временных серий.

Результаты

Расчеты показали, что наиболее высокая корреляция наблюдается между временными сериями среднегодовых значительных высот волн и индексом NAO осредненным за период с января по март (JFM в англоязычной литературе). Численные значения коэффициента корреляции Пирсона для различных точек моря составили от 0,40 до 0,60, а Спирмена от 0,39 до 0,53. Наиболее слабая корреляция была выявлена в юго-западной Балтике, а наиболее сильная – в северной Балтике. Все рассчитанные коэффициенты были статистически значимы на уровне как минимум $\alpha = 0,05$.

¹ <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml>

Что касается коэффициентов корреляции между скользящими пятилетними средними среднегодовых значительных высот волн и индекса NAO осредненного за период с января по март, то коэффициент корреляции Пирсона в этом случае составил от 0,54 до 0,83, а Спирмена от 0,50 до 0,82. Как и в случае межгодовой изменчивости, наиболее слабая корреляция была характерна для юго-западной, а наиболее сильная – для северной Балтики, а коэффициенты корреляции статистически значимы на уровне как минимум $\alpha = 0,05$.

Сравнивая полученные результаты, можно констатировать, что влияние NAO более заметно в рамках многолетней, а не межгодовой изменчивости. В рамках многолетней изменчивости влияние NAO может объяснить от 50 до 80% вариаций параметров волнения в Балтийском море, в то время как в рамках межгодовой – только от 40 до 60%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rodwell, M., Rowell, D., Folland, C. Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate. // *Nature*. 1999. Vol. 398. P. 320–323. doi: 10.1038/18648
2. Нестеров, Е.С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. М.: Триада, лтд, 2013. 144 с.
3. Bauer, E. Interannual changes of the ocean wave variability in the North Atlantic and in the North Sea. // *Climate Research*. 2001. Vol. 18. P. 63–69. doi: 10.3354/cr018063
4. Różyński, G. Long-term evolution of Baltic Sea wave climate near a coastal segment in Poland; its drivers and impacts. // *Ocean Engineering*. 2010. Vol. 37(2–3). P. 186–199. doi: 10.1016/j.oceaneng.2009.11.008
5. Surkova, G.V., Arkhipkin, V.S., Kislov, A.V. Atmospheric circulation and storm events in the Baltic Sea. // *Open Geosciences*. 2015. Vol. 7, no. 1. P. 332–341. doi: 10.1515/geo-2015-0030
6. Adell, A., Almström, B., Kroon, A., Larson, M., Uvo, C.B., Hallin, C. Spatial and temporal wave climate variability along the south coast of Sweden during 1959–2021. // *Regional Studies in Marine Science*. 2023. Vol. 63, October 2023, 103011. doi: 10.1016/j.rsma.2023.103011
7. Соколов, А.Н., Чубаренко, Б.В. Временная изменчивость параметров ветровых волн в Балтийском море за период 1979–2018 годов по результатам численного моделирования // *Морской гидрофизический журнал*. 2020. Т. 36, № 4. С. 383–395. doi: 10.22449/0233-7584-2020-4-383-395.
8. Sokolov, A., Chubarenko, B. Baltic sea wave climate in 1979–2018: Numerical modelling results. // *Ocean Engineering*. 2024. Vol. 297. 117088. doi: 10.1016/j.oceaneng.2024.117088

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В
ОКЕАНЕ В ОКРЕСТНОСТИ ИЗОЛИРОВАННОГО
ВОЗМУЩЕНИЯ ПОДВОДНОЙ ТОПОГРАФИИ МЕТОДОМ
КОНТУРНОЙ ДИНАМИКИ**

Шатохин М.В., Егорова В.М.

*Институт водных проблем РАН, 117312, Москва, ул. Губкина, 3,
8(499)135-73-31, info@iwp.ru*

**INVESTIGATION OF OCEAN POLLUTION DISTRIBUTION IN THE
VICINITY OF AN ISOLATED DISTURBANCE OF UNDERWATER
TOPOGRAPHY BY CONTOUR DYNAMICS METHOD**

Shatokhin M.V., Egorova V.M.

*Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, 3 Gubkin
str., Moscow, 117312, 8(499)135-73-31, info@iwp.ru*

Взаимодействие свободных вихрей верхнего слоя с топографическим антициклоном, сформированным над подводной горой, представлено в рамках модели трехслойного океана. Загрязнение – область внутри вихревого контура, эволюция которого описывается методом контурной динамики.

The interaction of the upper layer free vortices with a topographic anticyclone formed over a seamount is presented within the framework of a three-layer ocean model. Pollution is associated with the area inside the vortex contour, the evolution of which is described using the contour dynamics method.

Ключевые слова: метод контурной динамики, трехслойная модель океана, топографический вихрь, примесь, вихревое взаимодействие.

Key words: contour dynamics method, three-layer ocean model, topographic eddy, impurity, vortex interaction.

Мы прослеживаем, как антициклонический топографический вихрь, сгенерированный изолированной подводной горой, взаимодействует в трех слоях с пятнами примеси в вертикально

однородном зональном потоке U , направленном на восток. Динамика пятна примеси описывается эволюцией его контура в рамках модели контурной динамики [1]. Используем модель трехслойного океана [2], где каждый слой характеризуется постоянным значением плотности воды. В качестве горы выбран гайот Затонского, принадлежащий массиву Магеллановых гор. Начало декартовой системы координат совпадает с центром гайота, расположенным в нижнем слое. Оси x и y направлены на восток и север, соответственно.

Существование топографического вихря в каждом слое определяется наличием 2-ух неподвижных точек (эллиптической – центр вихря; гиперболической – точка самопересечения линии сепаратрисы). Возникновение точек и их расположение определяются параметрами внешнего потока и стратификацией. Параметры, принятые для дальнейшего моделирования: $U = 0.05$, $h_1 = 400$ м, $h_2 = 600$ м, где $h_{1,2}$ – толщины верхнего и среднего слоев при стратификации Тихого океана, взятой из [3]. При этих параметрах топографический вихрь существует в трех слоях.

На рис. 1 представлены результаты численных экспериментов по динамике изначально круговых пятен примеси для верхнего, среднего и нижнего слоев — последовательно сверху вниз. В верхнем слое пятно примеси имеет антициклоническую завихренность $\zeta = -0.2$. В среднем и нижнем слоях $\zeta \approx 0$. На рис. 2 аналогичный численный эксперимент, где пятно примеси в верхнем слое имеет циклоническую завихренность $\zeta = +0.2$. Координаты начального положения центров пятен $(x_0; y_0) = (-300$ км; -275 км), исходный радиус пятен 50 км в каждом слое.

По мере приближения свободного антициклона (красный) в область над возмущением топографии происходит частичный «перенос» завихренности: петля сепаратрисы топографического вихря сужается (вплоть до полного исчезновения), параллельно формируется вторая сепаратриса (рис. 1, верхний ряд, $T = 300 - 600$). В этот момент объем жидкости (зеленый), исходно попавший внутрь петли сепаратрисы топографического вихря, «вентируется» и сносится вниз по потоку. Возникает частичный захват ядра антициклонической примеси квазистационарным топографическим вихрем в процессе восстановления его сепаратрисы (рис. 1, верхний ряд, $T = 900$).

Пятна пассивной примеси, расположенные ниже, частично повторяют картины поведения, полученные в [4], аналогично вытягиваясь вниз по течению и делясь на две части (рис. 1, средний и нижний ряды). Тем не менее процессы выноса зеленой области из петли сепаратрисы топографического вихря и частичный захват пятна

примеси наблюдаются, хоть и не столь выражено. Пятно в нижнем слое быстрее взаимодействует с топографическим вихрем и покидает область над возмущением топографии.

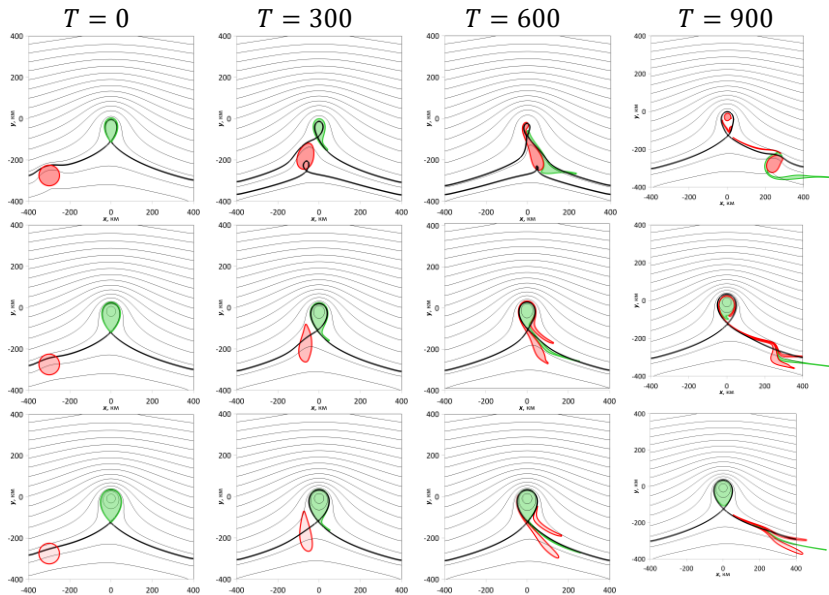


Рис. 1. Эволюция во времени (слева направо) пятен примеси (красная область; $\zeta = -0.2$ в верхнем слое, $\zeta \approx 0$ в среднем и нижнем слоях), переносимых зональным восточным потоком ($U = 0.05$) над горой в верхнем, среднем и нижнем слоях, последовательно сверху вниз. Внутренняя часть петли сепаратрисы (зеленая область) ассоциируется с топографическим вихрем.

Как видно из рис. 2, при тех же входных условиях захвата ядра циклонического пятна не происходит. Взаимодействуя с топографическим антициклоном в верхнем слое (рис. 2, верхний ряд, $T = 600 - 900$), вихревое пятно примеси (синий) разбивается на 2 части, выбрасывает вихревой хвост и ядро. Во всех слоях происходит слабовыраженная «вентиляция» вихря: зеленая область частично сносится вниз по потоку.

Интересно отметить, что в верхнем слое пятно примеси большой завихренности ζ проносится под линией сепаратрисы топографического вихря (отодвигая ее), практически не взаимодействуя с самим вихрем.

Исследования выполнены в рамках темы № FMWZ-2024-0001
Государственного задания ИВП РАН.

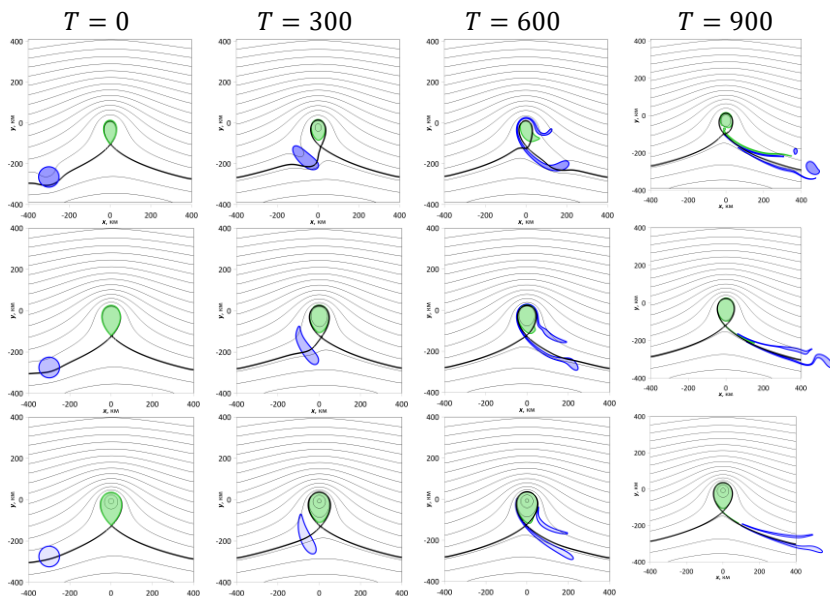


Рис. 2. То же, что на рис. 1 для верхнего слоя, но завихренность $\zeta = 0.2$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров, В.Г. Метод контурной динамики в океанологических исследованиях / В.Г. Макаров // Владивосток: ДВО АН СССР. - 1990. - С. 28-39.
2. Соколовский, М.А. Моделирование трехслойных вихревых движений в океане методом контурной динамики / М.А. Соколовский // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. - 1991. - т. 27. - № 5. - С. 550-562.
3. Каменкович, В.М. Синоптические вихри в океане / В.М. Каменкович, М.Н. Кошляков, А.С. Монин - Л.: Гидрометеиздат, 1987. - 264 с.
4. Шатохин, М.В. Динамика пассивной примеси в поверхностном и подповерхностном слоях во внешнем деформационном поле над подводной возвышенностью в океане / М.В. Шатохин, М.А. Соколовский // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. - 2023. - № 3. - С. 2330901-1-11.

**МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ
ШЕЛЬФОВЫХ РАЙОНАХ АРКТИКИ ЛЕТОМ 2023 Г.**

**Козлов И.Е.¹, Коржуев В.А.¹, Копышов И.О.^{1,2}, Павлов М.И.¹,
Зубов А.Г.¹, Зимин А.В.³**

¹ *Морской гидрофизический институт РАН, 299011, г.
Севастополь, Капитанская ул., д. 2, 8(8692)54-70-13,
igor.eko@gmail.com*

² *Московский физико-технический институт (МФТИ),
141701, г. Долгопрудный, Институтский пер., д. 9,
8(495)408-42-54,*

³ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997, Москва, Нахимовский пр., 36, 8(499)124-13-01,*

**MICROSTRUCTURE MEASUREMENTS OF TURBULENCE
PROPERTIES IN THE DYNAMICALLY ACTIVE REGIONS OF THE
ARCTIC SHELF IN SUMMER 2023**

**Kozlov I.E.¹, Korzhuev V.A.¹, Kopyshov I.O.^{1,2},
Pavlov M.I.¹, Zubov A.G.¹, Zimin A.V.³**

¹ *Marine Hydrophysical Institute of RAS, 299011, Sevastopol, 2, Kapitanskaya
st., Russia. igor.eko@gmail.com*

² *Moscow Institute of Physics and Technology, 141701, Dolgoprudny, 9,
Institutsky Per., Russia.*

³ *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia.*

В статье представлены предварительные результаты анализа характеристик турбулентности в динамически активных районах на шельфе Карского моря и Баренцева моря, полученные на основе измерений современных микроструктурных зондов MSS60/90L летом 2023 г.

Paper presents preliminary results of analysis of turbulence properties in the dynamically active shelf regions of the Kara and Barents Seas obtained from contemporary MSS60/90L microstructure probes in summer 2023.

Ключевые слова: океанская турбулентность, микроструктурные измерения, субмезомасштабная динамика океана, арктический шельф.
Key words: ocean turbulence, microstructure measurements, submesoscale ocean dynamics, Arctic shelf.

В настоящей работе представлены предварительные результаты анализа данных натурных измерений на шельфе Карского моря и Баренцева моря, выполненных в ходе экспедиции «Плавучий университет-2023» на борту НИС «Дальние Зеленцы» с 15 июля по 3 августа 2023 г. (рис. 1а). Одной из научных задач экспедиции было получение массива измерений микроструктурными зондами Sea & Sun Technology MSS60/90L (рис. 1б) для оценки характеристик вертикального турбулентного обмена в различных шельфовых районах Арктики.

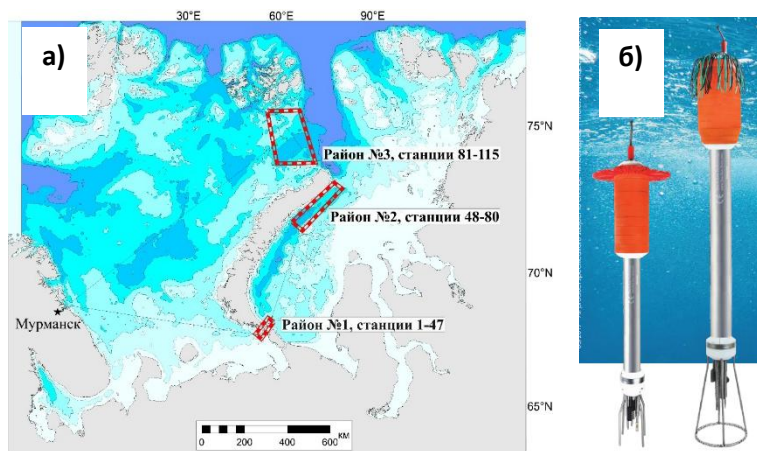


Рис. 1. а) Карта районов работ на шельфе Карского и Баренцева морей в экспедиции «Плавучий университет» летом 2023 г., б) внешний вид микроструктурных зондов Sea & Sun Technology MSS60 (слева) и MSS90L (справа).

В ходе экспедиционных работ основной акцент был сделан на выполнении измерений в районах с развитой мезо- и субмезомасштабной динамикой – в районах наблюдения интенсивных внутренних волн, фронтальных разделов, вихревых структур, прикромочной ледовой зоны. Такие районы определялись на основе авиаразведки при помощи беспилотных летательных аппаратов.

Микроструктурные измерения проводились в верхнем 200-метровом слое моря как на отдельных станциях, так и в ходе серий учащенных зондирований, позволяющих разрешить пространственно-временные масштабы интересующих процессов. Параллельно с микроструктурными измерениями также выполнялись измерения термопрофилемерами и STD-зондами.

В общей сложности в ходе экспедиции было получено 239 микроструктурных профилей. Глубина зондирования в разных районах существенно отличалась. Так, на первом полигоне в проливе Карские Ворота, известном генерацией интенсивных КВВ [1-3], и в его окрестностях глубина зондирования не превышала 70 м. Это было обусловлено необходимостью выполнять вертикальные профили с максимальной частотой порядка 2-3 минут, чтобы разрешить пакеты короткопериодных внутренних волн (КВВ) с характерными периодами в диапазоне 5-20 минут. В отдельных точках разрезов выполнялось два-три последовательных измерения, во время продолжительных 6-часовых дрейфов – непрерывные серии.

На втором полигоне на северо-западе Карского моря глубина зондирования достигала 100 м и состояла в основном из 2-3 последовательных измерений на каждой станции. На данном полигоне микроструктурные измерения проводились на периферии и внутри вихрей, наблюдавшихся в остаточных формах льда. Заключительным этапом работ было выполнение стандартного разреза от мыса Желания до архипелага Земля Франца-Иосифа. В ходе этого разреза методика измерений была той же, но до глубин 150-200 м, что позволило охватить слой вод атлантического происхождения на глубинах 60-200 м.

В ходе анализа данных микроструктурных измерений оценивались скорость диссипации кинетической энергии турбулентности (СДКЭТ), коэффициент диапикнической диффузии и вертикальный турбулентный поток тепла. По результатам предварительного анализа были выделены районы и процессы, определяющие повышенные относительно фона значения скорости диссипации и турбулентных потоков тепла. Фоновые значения СДКЭТ в различных шельфовых районах находились в диапазоне 10^{-9} - 10^{-11} Вт/кг. Всплески значений СДКЭТ наблюдались в слое сезонного пикноклина, на границах холодного промежуточного слоя и относительно теплой атлантической водной массы, где в отдельных эпизодах они достигали значений в диапазоне 10^{-5} - 10^{-6} Вт/кг. Максимальные вертикальные потоки тепла регистрировались в моменты прохождения интенсивных внутренних волн высотой более

20 м и достигали 100 Вт/м².

Настоящее исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 21-17-00278, а также в рамках государственного задания FNNN-2024-0017. Данные натурных измерений получены в ходе экспедиции по программе «Плавучий университет», финансируемой Министерством науки и высшего образования Российской Федерации при координации Московского физико-технического института.

ЛИТЕРАТУРА

1. Morozov, E. G. Strong internal tides in the Kara Gates Strait / E. G. Morozov, V. T. Paka, V. V. Bakhanov // *Geophys. Res. Lett.* – 2008. – №35.
2. Morozov, E. G. Internal tide in the Kara Gates Strait / E. G. Morozov, I. E. Kozlov, S. A. Shchuka, D. I. Frey // *Oceanology.* - 2017. – Vol. 57, №1. - P. 8-18.
3. Kozlov, I. E. et al. Multi-Sensor Observations Reveal Large-Amplitude Nonlinear Internal Waves in the Kara Gates, Arctic Ocean // *Remote Sensing.* – 2023. – Т. 15. – №. 24. – С. 5769

КОМПЛЕКСНЫЕ МУЛЬТИСЕНСОРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В АРКТИКЕ: ВЫЗОВЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

**Копышов И.О.^{1,2}, Козлов И.Е.¹, Зимин А.В.³, Свергун Е.И.³,
Гайский П.В.¹, Кульшин Д.И.⁴, Ермошкин А.В.⁵**

¹*Морской гидрофизический институт РАН, 299011, г. Севастополь,
ул. Капитанская, д. 2, +7(904)555-90-58, igor.eko@gmail.com*

²*Московский физико-технический институт,
141701, г. Долгопрудный, Институтский пер., д. 9, +7(982)275-65-98,
kopyshov.io@phystech.edu*

³*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997, Москва, Нахимовский пр., 36*

⁴*Нижегородский государственный университет им. Лобачевского, пр.
Гагарина, д. 23, 603022, г. Нижний Новгород*

⁵*Институт прикладной физики РАН, 603950, ул. Ульянова, 46, г.
Нижний Новгород*

MULTI-SENSOR OBSERVATIONS OF SHORT-PERIOD INTERNAL WAVES IN THE ARCTIC OCEAN: CHALLENGES AND RESULTS

Kopyshov I.O.^{1,2}, Kozlov I.E.¹, Zimin A.V.³, Svergun E.I.³, Gaisky P.V.¹, Kulshin D.I.⁴, Ermoshkin A.V.⁵

¹ *Marine Hydrophysical Institute of RAS, 2, Kapitanskaya Str., Sevastopol, 299011, Russia, +7(8692)54-70-13,*

igor.eko@gmail.com

² *Moscow Institute of Physics and Technology, 9 Institutskiy per., Dolgoprudny, 141701, Russia, +7(982)275-65-98,*

kopyshov.io@phystech.edu

³ *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36, Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia*

⁴ *Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia*

⁵ *Institute of Applied Physics, Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia*

В статье представлены общая методология и результаты оценки горизонтальных, вертикальных и кинематических характеристик короткопериодных внутренних волн в Арктике на основе синхронных измерений БПЛА, термокос, «йо-йо» сканирований и судового радара.

The article presents the general methodology and results of assessing the horizontal, vertical and kinematic properties of short-period internal waves in the Arctic based on synchronous measurements of UAVs, thermochains, yo-yo scans and ship radar.

Ключевые слова: Короткопериодные внутренние волны, «йо-йо» сканирование, пространственно-разнесённые приборы, дистанционное зондирование, БПЛА, судовой радар, Арктика

Key words: short-period internal waves, «yo-yo» casts, spatially spaced sensors, remote sensing, UAV, ship radar, Arctic Ocean

Изучение субмезомасштабных явлений в океане всегда на техническом уровне отличалось от изучения крупномасштабных процессов. Сложная трёхмерная структура таких быстропротекающих процессов, как короткопериодные внутренние волны (КВВ) требует

более комплексного подхода из-за невозможности восстановить пространственные и вертикальные характеристики по одному прибору. Свой вклад вносит нелинейность этих процессов, которая усложняет процесс восстановления характеристик. Однако именно нелинейность управляет взаимодействием между волновым процессом и вертикальным транспортом тепла, массы и биогенов [1]. Последний факт даёт возможность изучать КВВ проводя измерения не только гидрофизических полей в водной толще, но и поверхности.

В силу своей стратегической важности объектом нашего исследования является арктический бассейн, включая район Северного морского пути с большим судовым трафиком [2], где информация о протекающих гидрофизических процессах имеет практическую ценность.

В настоящей работе дается описание методики проведения комплексного натурального эксперимента, которая заключается в проведении синхронных учащенных серий измерений в одной из двух конфигураций, описанных ниже, а также результаты, полученные на ее основе. В обеих конфигурациях ключевую роль играет авиаразведка с помощью БПЛА, либо анализ данных судового радара, позволяющие идентифицировать районы распространения КВВ по их поверхностным проявлениям (ПП).

Конфигурация 1.

Первой и основной конфигурацией стало использование как минимум 3 разнесённых в пространстве сканирующих приборов, установленных на судне, производящих непрерывной профилирование верхнего слоя океана.

Все измерения производились в период экспедиций МФТИ-ИО РАН 2021, 2023, 2024 гг. в ходе:

- а) свободного дрейфа судна;
- б) заякоренной постановки судна.

в обоих случаях производилась запись положения и курса судна для дальнейшего определения трека каждого прибора с последующей триангуляцией данных. Основная идея такой конфигурации заключается в определении направления распространения фронта КВВ по временной задержке между приборами (более подробно в [3]), что позволяет определять фазовую скорость КВВ, амплитуду и период.

В отдельных постановках эксперимента синхронно с измерениями термодатчиками также выполнялись:

- а) «йо-йо» сканирование микроструктурным зондом;
- б) «йо-йо» сканирование малогабаритным СТД зондом

для получения информации о влиянии КВВ на термохалинную

структуру и турбулентные характеристики верхнего слоя моря.
Конфигурация 2.

Этот вид эксперимента заключался в выполнении «йо-йо» сканирований с борта маломерного высокоманевренного судна. Отличительной особенностью являлось позиционирование маломерного судна по оперативным данным с БПЛА, запуск которого производился с основного судна.

Общая последовательность выполнения измерений была следующей:

- 1) По данным спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) проводится идентификация «горячих точек» образования и распространения КВВ;
- 2) В предполагаемом районе работ проводится авиаразведка с помощью БПЛА либо судового радара в радиусе 3-5 км с акцентом на поиск характерных ПП КВВ;
- 3) После локализации районов ПП КВВ проводился спуск моторного катера «Зодиак» с экипажем 4 человека и малогабаритным СТД зондом (далее оперативный отряд). Оперативный отряд направлялся в область ПП КВВ и проводил вертикальные зондирования водной толщи поперёк направления распространения КВВ с шагом 200 м.

Данный подход позволяет провести синхронные измерения состояния морской поверхности по данным радара и термохалинной структуры верхнего слоя моря, что позволяет в дальнейшем исследовать зависимость между вертикальными характеристиками КВВ и величиной радиолокационного контраста, обусловленного прохождением КВВ.

В ходе выполненных мультисенсорных измерений были определены параметры интенсивных КВВ в проливе Карские Ворота летом 2021 г. [3]. В ходе работ в 2023 и 2024 гг. были получены уникальные данные о термохалинной структуре и турбулентных характеристиках верхнего слоя моря в моменты прохождения интенсивных КВВ, а также о характеристиках морской поверхности в радиолокационном и оптическом диапазонах.

Описанная методика и полученные результаты по измерению характеристик КВВ крайне важны как в рамках улучшения понимания механизмов генерации КВВ в Арктике [4], так и с точки зрения определения районов образования интенсивных КВВ большой амплитуды, представляющих потенциальную опасность при выполнении подводных операций и передачи подводных сигналов.

Настоящее исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 21-17-00278, а также в рамках государственного задания

FNNN-2024-0017. Данные натуральных измерений получены в ходе экспедиции по программе «Плавучий университет», финансируемой Министерством науки и высшего образования Российской Федерации при координации Московского физико-технического института.

ЛИТЕРАТУРА

1. Moum, J. N., Nash, J. D., Klymak, J. M. Small-scale processes in the coastal ocean //Oceanography. – 2008. – Т. 21. – №. 4. – С. 22-33.
2. Gunnarsson, B. Recent ship traffic and developing shipping trends on the Northern Sea Route—Policy implications for future arctic shipping //Marine Policy. – 2021. – Т. 124. – С. 104369.
3. Kozlov, I. E. et al. Multi-Sensor Observations Reveal Large-Amplitude Nonlinear Internal Waves in the Kara Gates, Arctic Ocean //Remote Sensing. – 2023. – Т. 15. – №. 24. – С. 5769.
4. Копышов, И. О., Козлов, И. Е. Анализ режимов потока в проливе Карские Ворота по данным натуральных и модельных наблюдений в июле 2023 года //Тезисы докладов VIII Всероссийской научной конференции «Моря России: современные методы исследований и их практическое применение», г. Севастополь, 2024 г. – С. 63-64.

УДК 551.326.1:551. 383.(268.52)

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЗОННОЙ И МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЛЕДОВИТОСТИ ВОСТОЧНО- СИБИРСКОГО МОРЯ В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Шаратунова М.В.¹, Тимофеева А.Б.¹, Мочнова Л.П.¹

*¹ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
199397, Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38, 8(812)337-31-14, mvsh@aari.ru*

**RESEARCH OF SEASONAL AND INTERANNUAL
VARIABILITY OF THE ICE COVER OF THE EAST
SIBERIAN SEA IN THE MODERN CLIMATIC
CONDITIONS**

Sharatunova M.V.¹, Timofeeva A.B.¹, Mochnova L.P.¹

В работе проанализированы ряды данных по ледовитости и температуре воздуха Восточно-Сибирского моря за период 1946- 2022 гг. Результаты подтверждают сокращение ледяного покрова с 2005 г, взаимосвязь среднегодовых аномалий температуры воздуха со среднесезонными аномалиями ледовитости.

The paper analyzes data series on the ice cover and air temperature of the East Siberian Sea for the period 1946- 2022. The results confirm the reduction of the ice cover since 2005, the relationship of the average annual air temperature anomalies with the average seasonal ice cover anomalies.

Ключевые слова: ледовитость, Восточно-Сибирское море, аномалии температуры воздуха, ледовые условия, сезонный ход ледовитости, сокращение ледяного покрова.

Key words: ice cover, the East Siberian Sea, air temperature anomalies, ice conditions, seasonal course of ice cover, reduction of ice cover.

Для анализа ледовых условий арктических морей в летний период используется важная характеристика ледяного покрова, ледовитость. Ледовитость – процент площади, занятой льдом любой сплоченности по отношению к площади моря (в данном случае к площади морей принятых в границах ААНИИ), приведенная в процентах [1,2].

Ледовитость арктических морей имеет хорошо выраженный сезонный ход. В зимний период для Восточно-Сибирского моря она близка к 100%. Процессы таяния начинаются в конце июня, интенсивно продолжаются в июле и августе и заканчиваются в сентябре, когда ледовитость постепенно снижается до своего сезонного минимума, после чего начинается новый цикл ледообразования.

В качестве исходных данных использовались количественные данные электронного архива ледовитости отдела ледового режима и прогнозов ГНЦ РФ ААНИИ с 1946 по 2022 гг., синхронизированные с электронным архивом отдела морских прогнозов Гидрометцентра России. Для анализа межгодовых значений температуры воздуха

использованы данные Мирового центра данных (ВНИИГМИ–МЦД).

Весь ряд был разделен на два климатических периода: 1946-2004 гг. и 2005-2022 гг. Подобные исследования по изучению ледовитости арктических морей были ранее опубликованы и другими авторами [3,4].

В рамках данной работы получены характерные распределения сезонного хода ледовитости по декадам за два периода для Восточно-Сибирского моря (рис. 1). Для Восточно-Сибирского моря характерно отсутствие существенных изменений в первую половину лета (снижение на 2-5%), вплоть до 3-й декады июля. С конца июля - начала августа наблюдается резкое изменение сезонного хода: ледовитость в последние годы существенно сократилась, достигая максимальной разницы с предыдущим периодом в сентябре (-47% с 2005 г.).

Раннее начало и интенсивное развитие таяния приводят к тому, что к началу сентября арктические моря по трассе СМП очищаются ото льда практически полностью (ледовитость менее 15%). В период 1946-2004 годов подобные случаи наблюдались в Восточно-Сибирском море достаточно редко –15%. С 2005 года повторяемость случаев полного очищения акватории моря увеличилась до 60%.

На рисунке 2 представлены многолетние колебания среднесезонной ледовитости за летний сезон (июль-сентябрь). Физический смысл этого показателя связан с тем, что он характеризует всю величину сезонных изменений, в отличие от среднемесячных значений.

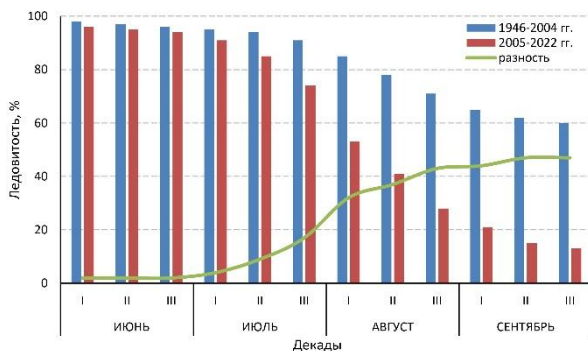


Рис.1. Ежедекадная ледовитость (в %) за летний сезон средняя за периоды 1946-2004 и 2005-2022 гг.

Здесь определяется статистически значимая (для уровня значимости 0,01) и линейная тенденция уменьшения ледовитости,

составляющая около 30% за весь период наблюдений или 4% за десятилетие.

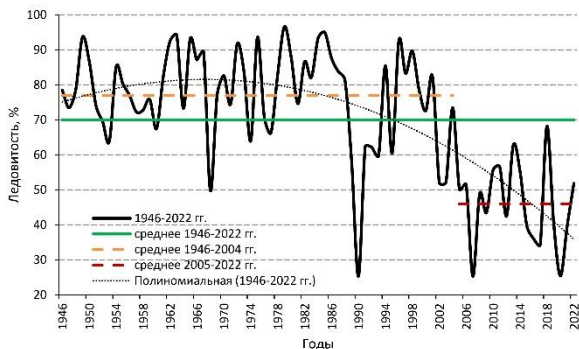


Рис.2. Межгодовая изменчивость средней за летний сезон ледовитости Восточно-Сибирского моря (в %).

Также был проделан совместный анализ многолетнего хода интегральных среднегодовых аномалий температуры воздуха с аномалиями среднесезонной ледовитости Восточно-Сибирского моря (рис.3).

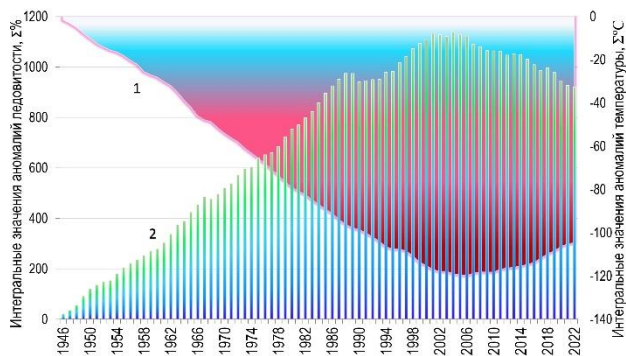


Рис. 3. Межгодовые изменения интегральных значений среднегодовых аномалий температуры воздуха (1) и аномалий ледовитости (2) за период 1946 –2022 гг.

Следовательно, происходит накопление крупных отрицательных аномалий ледовитости, что хорошо согласуется с ростом положительных аномалий температуры воздуха. Однако, размах колебаний и стандартного отклонения изменились незначительно и ледовитость колеблется практически в том же

диапазоне, но на более низком среднем уровне с 2005 г.

Работа выполнена в рамках программы ЦНТП № 5.1.2 «Развитие существующих и разработка новых методов и технологий долгосрочного (месячного и сезонного) прогнозирования элементов ледово-гидрологического режима арктических морей, низовьев и устьевых областей рек в условиях климатических изменений».

ЛИТЕРАТУРА

1. Моря российской Арктики в современных климатических условиях / Под ред. И. М. Ашика; ААНИИ. — СПб., 2021. — С. 360.
2. 1989—2017. Sea ice Nomenclature. WMO, no. 259.
3. Тимофеева А. Б. Ледовитость российских арктических морей трассы Северного морского пути в современный климатический период/ Тимофеева А. Б., Юлин А. В., Иванов В. В. и др. // Арктика: экология и экономика. — 2024. — Т. 14. № 1. — С. 135—146.
4. Юлин А.В. Межгодовая и сезонная изменчивость ледовитости российских арктических морей в современном климатическом периоде /Юлин А. В., Тимофеева А. Б., Павлова Е. А. и др. //Тр. ГОИН. — 2019. — № 220. — С. 44—60.

УДК 551.468 + 551.46.062.3 + 551.46.062.5

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИООПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ У БЕРЕГОВ КРЫМА ОСЕНЬЮ 2024 Г. ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

**Федирко А.В.¹, Латушкин А.А.², Артамонов Ю.В.³,
Скрипалева Е.А.⁴**

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия
299011, Севастополь, ул. Капитанская, 2*

¹vault102@gmail.com, ²sevsalat@gmail.com, ³artam-ant@yandex.ru,

⁴sea-ant@yandex.ru,

THE DISTRIBUTION OF BIOOPTICAL PARAMETERS OFF THE CRIMEA COASTS IN AUTUMN 2024 BASED ON EXPEDITION MEASUREMENTS

Fedirko A.V.¹, Latushkin A.A.², Artamonov Yu.V.³, Skripaleva E.A.⁴

Представлены результаты комплексной гидролого-биооптической съемки, выполненной у берегов Крыма осенью 2024 г. в ходе 133-го рейса НИС «Профессор Водяницкий». Проанализированы распределения фотосинтетически активной радиации и концентрации хлорофилла-а и их связь с термохалинной структурой вод.

The results of a comprehensive hydrological and biooptical survey carried out off the Crimea coast in Autumn 2024 during the 133rd cruise of the R/V *Professor Vodyanitsky* are presented. The distributions of photosynthetically active radiation and chlorophyll-a concentrations and their relationship with the thermohaline structure of waters are analyzed.

Ключевые слова: Черное море, гидрологические станции, фотосинтетически активная радиация, концентрация хлорофилла-а, температура воды, соленость воды.

Key words: Black Sea, hydrological stations, photosynthetically active radiation, chlorophyll-a concentration, water temperature, water salinity.

В рамках мониторинга экологического состояния вод прибрежной части Черного моря и программы экспедиционных исследований МГИ РАН в период с 11 сентября по 3 октября 2024 г. у берегов Крыма в ходе 133-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» была выполнена комплексная гидролого-биооптическая съемка. Синхронные измерения термохалинных и биооптических параметров, выполненные в ходе съемки, позволили оценить текущее состояние структуры вод и интерпретировать особенности распределения биооптических полей. В данной работе представлены результаты анализа распределений значений фотосинтетически активной радиации (ФАР) и концентрации хлорофилла-а (*Chl-a*) и их связи с термохалинной структурой вод.

Температура (°C), соленость (εps), значения ФАР (мкмоль фотонов/с/м²) и концентрация *Chl-a* (мг/л) измерялись в светлое время суток от поверхности до 200 м с помощью зондирующего STD комплекса IDRONAUT OCEAN SEVEN 320 PlusM. Измерения выполнялись в пределах территориальных вод России от м. Сарыч до м. Чауда (рис. 1). По техническим причинам на глубинах менее 40 м измерения биооптических параметров не проводились.

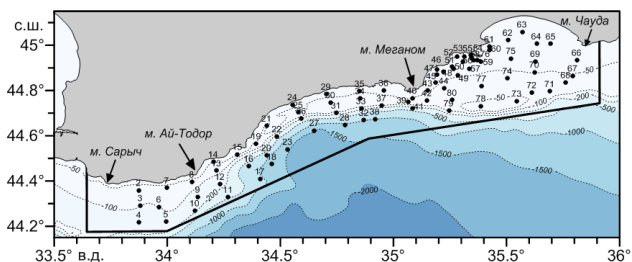


Рис. 1. Полигон измерений и схема выполненных станций.

Распределение ФАР на поверхности характеризовалось пятнистой структурой, ее значения на полигоне изменялись от 100 до 1500 мкмоль фотонов/с/м² (рис. 2, а). Максимум ФАР наблюдался на мористых станциях на траверзе м. Ай-Тодор. Повышение значений ФАР до 800–1000 мкмоль фотонов/с/м² отмечалось также в центральной части полигона. В целом к западу от м. Меганом в областях увеличения ФАР наблюдалось повышение значений температуры на поверхности моря (до 24.8–25.4°C) (рис. 2, а, в).

Распределение концентрации *Chl-a* на поверхности (рис. 2, б) показало ее увеличение (до 0.6–0.9 мг/л) на прибрежных станциях, где наблюдалось заметное понижение солености (18.25–18.35 епс) (рис. 2, г). На мористых станциях в западной части полигона, где значения солености были максимальными (18.6–18.7 епс), отмечались низкие значения концентрации *Chl-a* (0.3–0.4 мг/л) (рис. 2, б, г). В целом между пространственными распределениями значений концентрации *Chl-a* и солености на поверхности моря выявлена значимая обратная линейная корреляция (на уровне статистической значимости $\alpha=0.05$) с величиной $R = -0.47$ (рис. 2, г, врезка). Аналогичная связь концентрации *Chl-a* с соленостью, но не на поверхности, а на глубине 50 м, была выявлена весной 2021 г. в районе Южного берега Крыма по данным 116-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» [1].

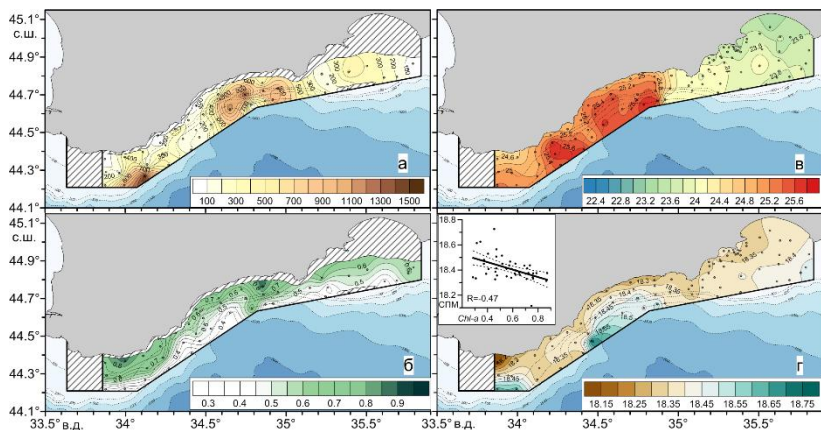


Рис. 2. Распределения значений ФАР (а), концентрации *Chl-a* (б), температуры (в) и солёности (г) на поверхности. На врезке – график линейной связи между распределениями СПМ и концентрации *Chl-a*, штриховые кривые – границы доверительного интервала 95%-ного уровня статистической достоверности.

Анализ вертикальных распределений значений ФАР, концентрации *Chl-a* и вертикальных градиентов температуры (ВГТ) и солёности (ВГС) на станциях, примеры которых представлены на рис. 3, показал, что на всем полигоне максимум ФАР располагался в верхнем 5-метровом слое, максимум концентрации *Chl-a* – в подповерхностном слое 18–52 м. Глубина залегания максимума ВГТ по абсолютной величине (сезонного термоклина) изменялась на полигоне от 16 м до 51 м. На некоторых станциях (например, ст. № 27 и № 71) отмечались два максимума ВГС (сезонных галоклина) на глубинах 15–30 м и 30–50 м (рис. 3). На этих же станциях наблюдались два максимума концентрации *Chl-a*. В целом по совокупности всех станций максимальная концентрация *Chl-a* наблюдалась в пределах слоя сезонных термоклина и галоклина. Выявлена высокая линейная корреляция (при $\alpha=0.05$) между распределениями глубин залегания максимумов ВГТ ($H_{ВГТmax}$) и концентрации *Chl-a* ($H_{Chl-a max}$) с величиной $R = 0.83$ (рис. 4, а). Между распределениями глубин залегания максимумов ВГС ($H_{ВГСmax}$) и концентрации *Chl-a* величина R составила 0.84 (рис. 4, б).

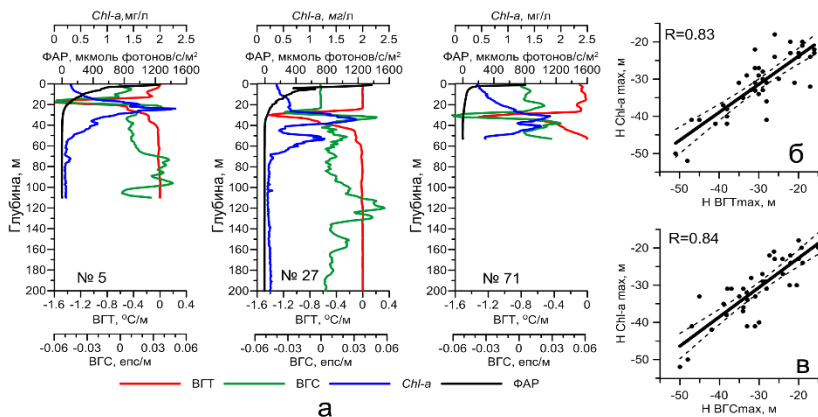


Рис. 3. Вертикальные распределения значений ФАР, концентрации *Chl-a*, ВГТ и ВГС на станциях в западной (ст. № 5), центральной (ст. № 27) и восточной (ст. № 71) частях полигона (номера станций указаны на графиках) (а); графики линейной связи между глубинами залегания максимумов ВГТ и концентрации *Chl-a* (б), ВГС и концентрации *Chl-a* (в).

Работа выполнена в рамках тем государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0014 и FNNN-2024-0012. Данные получены в Центре коллективного пользования «НИС Профессор Водяницкий» ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крашенинникова С. Б. Пространственное распределение концентрации хлорофилла *a* с учётом гидрологических, гидрохимических и гидрооптических условий Чёрного моря весной 2021 г. / С. Б. Крашенинникова, С. А. Бабич // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского природного заповедника РАН. – 2022. – № 3 (23). – С. 13–22. – EDN BNQFDA. – doi:10.21072/eco.2022.23.02. – (Изучение биоразнообразия и экологический мониторинг).

РАСЧЕТ СПЕКТРОВ ФЛЮОРЕСЦЕНЦИИ МОРСКОЙ ВОДЫ

Глуховец Д.И.^{1,2}, Гольдин Ю.А.¹

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,*

Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01;

² *Московский физико-технический институт (национальный
исследовательский университет), Институтский пер., 9,*

141701, г. Долгопрудный, 8(495)408-45-54.

glukhovets@ocean.ru

CALCULATION OF SEAWATER FLUORESCENCE SPECTRA

Glukhovets D.I.^{1,2}, Goldin Yu.A.¹

¹ *Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences,*

36, Nakhimovsky prospect, Moscow, 117997

² *Moscow Institute of Physics and Technology (National Research
University), Institutskiy per., 9, Dolgoprudny, 141701*

На основе численного решения уравнения переноса излучения рассчитаны спектры флуоресценции морской воды, возбуждаемые лазерным излучением с длинами волн 405 и 532 нм. Выполнена валидация результатов расчета по данным измерений двухканальным лазерным спектрометром ЛС-2.

Based on the numerical solution of the radiative transfer equation, the seawater fluorescence spectra excited by laser radiation with wavelengths of 405 and 532 nm were calculated. The calculation results were validated using the measurement data of the LS-2 two-channel laser spectrometer.

Ключевые слова: флуоресценция морской воды, уравнение переноса излучения, HydroLight, хлорофилл-а, ОРОВ.

Key words: seawater fluorescence, radiative transfer equation, HydroLight, chlorophyll-a, CDOM.

Характеристики спектров флуоресценции морской воды позволяют оценивать значения биооптических параметров, в

частности, концентрацию пигментов фитопланктона, что необходимо для расчета первичной продукции и регистрации массовых цветений водорослей, а также несут информацию о происхождении вод [1]. Например, информация о пространственном распределении интенсивности флуоресценции окрашенного растворенного органического вещества (ОРОВ) широко используется для исследования распространения речного стока [2].

В Лаборатории оптики океана ИО РАН разработан ряд приборов, с использованием которых выполняются измерения спектров флуоресценции морской воды: спектральный проточный четырехканальный флуориметр ПФ-4 и двухканальный лазерный спектрометр ЛС-2 [3]. Спектральные флуоресцентные измерения позволяют разделять влияние вкладов различных факторов, определяющих биооптические характеристики природных вод, а также нормировать регистрируемые сигналы на комбинационное рассеяние на молекулах воды [4]. Существенная изменчивость значений показателя поглощения света морской водой и сечения неупругого рассеяния молекул воды, а также возможные вариации значений квантового выхода флуоресценции пигментов фитопланктона усложняют интерпретацию экспериментальных данных. Для количественной оценки влияния перечисленных факторов на результаты измерений выполнено численное моделирование спектров флуоресценции морской воды.

Моделирование выполнялось в программе HydroLight [5] путем численного решения уравнения переноса излучения с учетом эффектов неупругого рассеяния. Расчет выполнялся для однородного плоского слоя морской воды толщиной 2 см (что соответствует ширине кюветы ЛС-2), освещаемого широким пучком монохроматического излучения (длины волн 405 или 532 нм), направленным перпендикулярно поверхности воды. Под слоем воды находилось «черное» дно, поглощающее все попадающее на него излучение. Такая конфигурация достаточно хорошо описывает устройство двухканального лазерного спектрометра. Расчеты выполнялись в спектральном интервале от длины волны возбуждения до 720 нм с разрешением 5 нм с увеличением разрешения до 1 нм в области полосы КР. Получаемый в результате моделирования спектр восходящей облученности соответствует регистрируемому прибором сигналу. При дальнейшей обработке спектр интерполируется с шагом 1 нм и сглаживается линейным фильтром с шириной окна 9 нм для имитации спектрального разрешения ЛС-2 (9 нм).

Для валидации результатов расчета выбраны спектры,

измеренные с использованием ЛС-2 в июне 2021 г. в южной части Баренцева моря на станции 7013 в 83-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» [6]. При расчете использовалась модель для вод второго оптического типа «Case 2 new». Для настройки модели были использованы значения показателя поглощения частицами и ОРОВ, полученные с помощью интегрирующей сферы. Поскольку исследуемые воды характеризовались низким содержанием взвешенного вещества для расчетов использовались стандартные параметры упругого рассеяния, соответствующие модели вод первого оптического типа. Влияние возможной неточности используемых в расчете параметров рассеяния устраняется при последующей нормировке спектров флуоресценции на интенсивность полосы КР. Единственным свободным параметром модели является квантовый выход флуоресценции f_{Chl} . Согласно результатам работы [7] этот параметр может изменяться от 1% до 7%. Значения f_{Chl} были подобраны для согласия результатов моделирования нормированной на интенсивность полосы КР амплитуды пика интенсивности флуоресценции хлорофилла-а (Хл) с данными контактных измерений: при возбуждении длиной волны 405 нм $f_{\text{Chl}} = 0,035$; при 532 нм – $f_{\text{Chl}} = 0,019$. Результаты измерений и моделирования спектров флуоресценции морской воды представлены на рисунке 1.

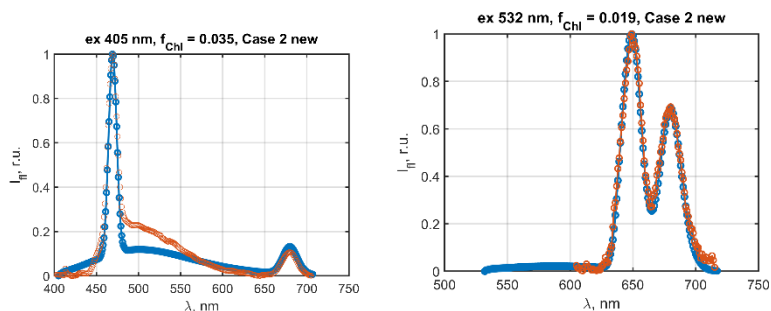


Рис. 1. Спектры флуоресценции морской воды, измеренные на станции 7013 в Баренцевом море (оранжевым) и рассчитанные в программе HydroLight (синим). Слева при возбуждении длиной волны 405 нм, справа – 532 нм.

Результат моделирования интенсивности флуоресценции ОРОВ при возбуждении длиной волны 405 нм ниже измеренного, что указывает на необходимость использования при моделировании характерных для исследуемых вод значений квантового выхода

флуоресценции ОРОВ. В зеленом канале сигнал ОРОВ практически отсутствует.

Для выделения полосы флуоресценции Хл и сигнала КР на фоне полосы флуоресценции ОРОВ при возбуждении длиной волны 405 нм использовалось разложение спектра флуоресценции морской воды на сумму 4 функций Гаусса. Пика КР соответствует кривая с максимумом в области 469 нм и полушириной 7 нм, пика Хл – 681 нм с полушириной 14 нм, полоса флуоресценции ОРОВ складывается из двух функций с максимумами в области 488 и 550 нм с полуширинами 61 и 84 нм соответственно. Значения этих коэффициентов подобраны методом наименьших квадратов относительно смоделированного спектра и зафиксированы. При разложении спектра подбираются 4 значения амплитуд описанных функций. Искомая интенсивность флуоресценции Хл, нормированная на величину КР представляет собой отношение второго коэффициента к первому.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0015).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Карабашев Г.С. Флуоресценция в океане // Л.: Гидрометеоздат. 1987. 200 С.
2. Glukhovets D.I., Goldin Yu.A. Surface desalinated layer distribution in the Kara Sea determined by shipboard and satellite data // *Oceanologia*. 2020. Vol. 62. № 3. P. 364-373.
3. Glukhovets D.I., Goldin Yu.A. Express method for chlorophyll concentration assessment // *Journal of Photochemistry and Photobiology*. 2021. Vol. 8.
4. Глуховец Д. И. и др. Калибровка проточного флуориметра ПФД-2 // *Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2019)*. 2019. С. 45-48.
5. Hedley J.D., Mobley C.D. HYDROLIGHT 6.0 ECOLIGHT 6.0 Technical Documentation // Numerical Optics Ltd.: Tiverton, UK. 2019.
6. Глуховец Д.И. и др. Восстановление полного комплекса оптических характеристик для оценки теплосодержания в южной части Баренцева моря в июне 2021 г // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2021. Т. 18. №. 5. С. 214.
7. Maritorea S., Morel A., Gentili B. Determination of the fluorescence quantum yield by oceanic phytoplankton in their natural habitat // *Applied optics*. 2000. Vol. 39. №. 36. P. 6725-6737.

**О ТЕЧЕНИЯХ, ВИХРЯХ И ДОЛГОПЕРИОДНЫХ ВОЛНАХ,
ВОЛНАХ СОЛИТОНАХ, МИРОВОГО ОКЕАНА, МОРЕЙ, ОЗЁР,
ВОДОХРАНИЛИЩ, АТМОСФЕРЫ, И ИХ ИЗМЕРЕНИЯХ.
ЛОЖНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ, ИЛЛЮЗИИ И РЕАЛЬНОСТЬ**

Бондаренко Альберт Леонидович
Albert-bond@mail.ru, 8-968-547-88-10

ABOUT CURRENTS, EDDIES AND LONG-TERM WAVES,
SOLITONS WAVES, THE WORLD OCEAN, SEAS, LAKES,
RESERVOIRS, THE ATMOSPHERE, AND THEIR MEASUREMENTS.
FALSE IDEAS, ILLUSIONS AND REALITY.

BONDARENKO A.L.

Согласно существующим представлениям, в Мировом океане, морях, озёрах, водохранилищах существуют течения, струйные течения и, порождаемые ими, вихри, а в Атмосфере – ветер, высотные струйные течения и, порождаемые ими, вихри – циклоны и антициклоны.

1.В водах Мирового океана, морей, озёр, водохранилищ, в воздухе Атмосферы, течений и вихрей нет, они не существуют!!! Они существуют только в представлениях людей, наблюдателей, исследователей, учёных!!!

2.В водах Мирового океана, морей, озёр, водохранилищ, в воздухе Атмосферы существуют Волны Солитоны!!!

3. Информация о Волнах Солитонах Мирового океана, морей и Атмосферы, получаемая с помощью измерителей течений и ветра, - ложная, она неправильно характеризует Волны Солитоны. Кроме того, она ложно указывает на существование в Мировом океане, морях и Атмосфере, течений, Струйных течений, ветра, вихрей, циклонов, антициклонов!!!

4. Правильная информация о Волнах Солитонах Мирового океана, морей получается по альтиметрическим измерениям поверхности океана, морей, а Атмосферы - по барической топографии!!! Параметры Волн Солитонов в Мировом океане, морях, такие: период волн – 40 – 5 суток, высота волн, радиус движения частиц воды в волнах – 1 м – доли метра, скорость

движения частиц воды – 1 микрон – доли микрона в секунду!!!
Параметры Волн Солитонов Атмосферы, такие: период движения частиц воздуха в волнах по орбитам ~ сутки, высота волн, радиус орбиты ~ 1 км, скорость движения частиц воздуха по орбитам ~ 5 см/с!!!

According to existing ideas, in the World Ocean, seas, lakes, reservoirs there are currents, jet streams and vortices generated by them, and in the Atmosphere - wind, high-altitude jet streams and vortices generated by them - cyclones and anticyclones. The author of the report established:

1. In the waters of the World Ocean, seas, lakes, reservoirs, in the air of the Atmosphere, there are no currents and vortices, they do not exist!!! They exist only in the ideas of people, observers, researchers, scientists!!!

2. In the waters of the World Ocean, seas, lakes, reservoirs, in the air of the Atmosphere, there are Soliton Waves!!!

3. Information about Soliton Waves of the World Ocean, seas and the Atmosphere, obtained with the help of current and wind meters, is false, it does not correctly characterize Soliton Waves. In addition, it falsely indicates the existence in the World Ocean, seas and Atmosphere of currents, jet streams, wind, vortices, cyclones, anticyclones!!!

4. Correct information about the Waves Solitons of the World Ocean, seas is obtained from altimetry measurements of the surface of the ocean, seas, and the Atmosphere - from baric topography!!!

Течения, вихри и долгопериодные волны, кинематически, энергетически - разные процессы, они по-разному проявляются в средах их обитания, в воде Мирового океана, морей, озёр, водохранилищ, в воздухе Атмосферы, и в их измерениях.

Течения, вихри – процессы, с которыми связаны поступательные перемещения масс воды, воздуха. Течения, вихри – квази вынужденные процессы. Долгопериодные волны – колебательные, резонансные, энерго- накопительные процессы. В волнах, частицы воды, воздуха совершают движения по замкнутым орбитам, относительно неподвижного центра равновесия. Эти частицы воды, воздуха не совершают поступательных движений, следовательно, и масс воды, воздуха. Отсюда, вывод: долгопериодные волны не создают течений, вихрей в водах Мирового океана, морей, озёр, водохранилищ и в воздухе Атмосферы.

Течения, струйные течения, вихри водных бассейнов и Атмосферы – процессы большой энергоёмкости. На поддержание их существования тратится очень большое количество энергии. Долгопериодные волны – процессы малой энергоёмкости. На их создание, и поддержание их существования тратится очень малое количество энергии. Вот сравнительные данные. На поддержание существования течений, вихрей, струйных течений, циклонов, антициклонов тратится в миллиарды раз больше энергии, чем на создание и поддержание долгопериодных волн!!!

Вот ещё важные различия Течений и Волн. Течения, Вихри – образования неустойчивые. Долгопериодные волны, Волны Солитоны – супер - супер устойчивые образования, их энергия очень мало меняется во времени, а период - постоянный, не меняется во времени.

О существовании поступательных движений воды, воздуха, течений, вихрей, Струйных течений, циклонов, антициклонов в водных бассейнах Земли и в Атмосфере, люди, наблюдатели исследователи, учёные “узнают” по перемещениям в пространстве различных предметов, веществ или по показаниям приборов, размещённых в воде, воздухе.

Опишем формирование процессов, обозначенных в названии доклада, такими, какие они есть, на самом деле, а потом – какими они представляются людям, наблюдателям, исследователям, учёным.

В последние десятилетия, Мировой наукой, было установлено, что вся материя Вселенной находится в состоянии активности Волн Солитонов WWW.astronet.ru/db/msg/1188217, WWW.astronet.ru/db/msg/1188217

Нас будет интересовать материи бассейнов Земли: вода Мирового океана, морей, озёр, водохранилищ, воздух Атмосферы, а также Волны Солитоны в этих материях.

Материю этих бассейнов можно разделить на два вида: вода, воздух, представленные в виде частиц воды, воздуха, молекул воды, воздуха, которые, сплошь заполняют бассейны. Эти материи будем называть Средой, а также материи в виде твёрдых, жидких, газообразных образований, которые, в виде отдельных вкраплений, находятся в Средах, их будем называть Инородными телами. Сюда входят и измерители течений – дрейфтеры, и измерители, установленные на стационарных платформах, а также измерители ветра, флюгеры, воздушные шары.

В Волнах Солитонах, как и в других волнах, частицы воды, воздуха совершают движения по замкнутым орбитам. Величина радиуса орбитальных движений меняется во времени, но положение, центра вращения - постоянное. Это свидетельствует о том, что

частицы, и вся масса воды, воздуха, Среда, поступательно волнами не перемещаются, но перемещаются волнами Инеродные тела. Это происходит так. Частицы воды, воздуха, движущиеся по орбитам очень медленно, действуют на Инеродные тела с большой силой, и те движутся очень быстро.

В качестве примера, приведём параметры Волн Солитонов и Инеродных тел в Гольфстриме и Северо-Атлантическом течении, Струйных течениях. В Струйных течениях частицы воды движутся в вертикальных плоскостях. Эти движения частиц воды формируют изменения поверхности воды Мирового океана, которые, измеряются альтиметрически, с большой точностью. По альтиметрическим измерениям, нами определены параметры Волн Солитонов, а по измерениям “течений” определены параметры движений Инеродных тел. Они такие: период волн ~ 40 суток, радиус орбиты $\sim 1 - 0,3$ м, скорость движения частиц воды по орбитам ~ 1 - мк/с. Скорость движения Инеродных тел ~ 1 м/с – доли м/с. Параметры движений частиц воздуха Волн Солитонов и Инеродных тел в Атмосфере были определены по барической топографии, они такие: период движения частиц воздуха по орбитам в Волнах Солитонах \sim сутки, высота волн, радиус орбиты ~ 1 км, скорость движения по орбитам частиц воздуха ~ 5 см/с.

Движения воды, , воздуха, в силу их малости, не обнаруживаются в их измерениях “течений”, но хорошо заметны в альтиметрических измерениях и изменениях барической топографии. Движения инородных тел хорошо заметны в измерениях “течений”.

Из приведенного примера, следует, что скорость движения Инеродных тел в Мировом океане в миллион раз больше скорости движения частиц воды. Этого люди не знают, в их представлениях, движения Инеродных тел ассоциируются с поступательными перемещениями воды, воздуха в пространстве, каковыми являются, в частности, течения, Струйные течения и вихри в водных бассейнах Земли и Высотные струйные течения, Циклоны, Антициклоны – в Атмосфере.

Из изложенного, ясно, что перемещений в пространстве воды, воздуха, течений, вихрей, в Мировом океане, морях, озёрах, водохранилищах, Атмосфере, в реальности не существует, они существуют только в представлениях людей!!! Но, в водных бассейнах Земли и воздушном Атмосферы существуют Волны Солитоны, которые перемещают в пространстве Инеродные тела. Эти перемещения Инеродных тел, у людей, исследователей, учёных ложно, ассоциируются с течениями, Струйными течениями, Вихрями,

Высотными Струйными течениями, Циклонами, Антициклонами!!!

Вот, как выглядит силовое поле Волн Солитонов Мирового океана, морей, озёр, Атмосферы [4,5,11], (рис.1а). В данном случае, это проекция на поверхность Мирового океана, морей или на нулевую барическую топографию Атмосферы.

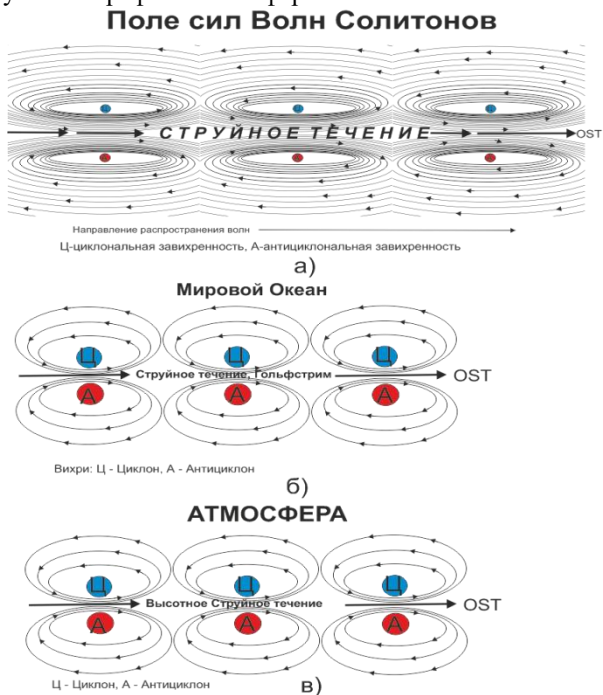


Рис. 1а) Проекция Поля сил Волн Солитонов на уровенную поверхность Мирового океана или на нулевую барическую топографию Атмосферы.

Рис. 1б) Динамика Мирового океана (вид на поверхность океана).

Рис. 1в) Динамика Атмосферы (вид сверху на нулевую барическую топографию).

Считается, если в Мировом океане, морях, озёрах, водохранилищах, инородные тела, дрейфтеры перемещаются поступательно в пространстве или приборы, установленные стационарно, “выдают” показания, отличные от нуля, то это вызвано только течениями, и не чем иным. Это ложные представления о

течениях, и их измерениях.

В этих ложных представлениях о течениях Мирового океана, морей, озёр, водохранилищ, человечество существует, и в настоящее время. Но, не все!!!

Вернёмся в прошлое. В 1978 г, Советский учёный, океанолог С.С. Лаппо сделал выдающееся открытие, установив, что в Мировом океане течений нет, но есть Долгопериодные волны, Волны Россби [9]. Исследования были выполнены по анализу материалов эксперимента ПОЛИМОДЕ [1].

К аналогичному выводу, в 1986 г. пришёл автор доклада, выполнив структурный анализ своих измерений течений Каспийского моря [5]. А.С. Монин, [11] В.Г. Корт [7] имели концепции, схожие с концепцией С.С. Лаппо.

Следует пояснить. С.С. Лаппо и остальные названные учёные ошибались в том, что зарегистрированы Волны Россби. Зарегистрированы не Волны Россби, а продукт их активности, что нами обсуждалось. Кроме того, автором доклада, позже, в 2013 г, было установлено, что это не Волны Россби, а Волны Солитоны[4]. Точнее, зарегистрированы не Волны Солитоны, а продукт их активности - движения Инородных тел в Силовом поле Волн Солитонов.

О возможности существования Волн Солитонов в океанах, морях, озёрах и Атмосфере говорится в работах [6,7,8,11]. Для подтверждения этого приведу выдержку из работы [6]: “Попытка интерпретации синоптических вихрей открытого океана, как Солитонов Россби представляются вполне естественными, однако, как уровень развития теории, так и объём наблюдений ещё недостаточны, чтобы считать такую интерпретацию полностью обоснованной”. Это было написано в 1982г. Но после этого в Мировой практике исследований динамики Мирового океана и Атмосферы появилось очень большое количество наблюдений, вполне достаточное для обоснования, предложенной автором, новой концепции динамики Мирового океана и Атмосферы, их формировании Волнами солитонами.

В Ы В О Д Ы.

Автором доклада установлено:

1.В водах Мирового океана, морей, озёр, водохранилищ, в воздухе Атмосферы, течений и, Струйных течений вихрей нет, они не существуют!!! Они существуют только в представлениях людей,

наблюдателей, исследователей, учёных!!!

2. В водах Мирового океана, морей, озёр, водохранилищ, в воздухе Атмосферы существуют Волны Солитоны!!!

3. Информация о Волнах Солитонах Мирового океана, морей, озёр, водохранилищ и Атмосферы, получаемая с помощью измерителей течений и ветра, - ложная, она не правильно характеризует Волны Солитоны. Кроме того, она ложно "указывает" на существование в Мировом океане, морях, озёрах, водохранилищах и Атмосфере, течений, Струйных течений, ветра, вихрей, циклонов, антициклонов!!!

3. Правильная информация о Волнах Солитонах Мирового океана, морей, озёр, водохранилищ получается по альтиметрическим измерениям поверхности Мирового океана, морей, а Атмосферы - по барической топографии!!! Параметры Волн Солитонов в Мировом океане, морях, такие: период волн - 40 - 5 суток, высота волн, радиус движения частиц воды в волнах - 1 м - доли метра, скорость движения частиц воды - 1 микрон - доли микрона в секунду!!! Ложная информация о Струйных течениях, получаемая измерителями течений, такая: в Мировом океане, морях - метры - доли метра в секунду.

4. Правильная информация. Параметры Волн Солитонов Атмосферы, такие: период движения частиц воздуха в волнах по орбитам ~ сутки, высота волн, радиус орбиты ~ 1 км, скорость движения частиц воздуха по орбитам ~ 5 см/с!!! Ложная информация о Струйных течениях в Атмосфере, получаемая измерителями ветра, воздушными шарами, такая: скорость Струйного течения - 100 - 300 м/с

Л И Т Е Р А Т У Р А.

1. Атлас ПОЛИМОДЕ Под редакцией А.Д. Вуриса, В.М. Каменковича, А.С. Монина. Published by the Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Massachusetts, U.S.A. 1986. 370с.
2. Бондаренко А.Л. Течения Каспийского моря и формирование поля солёности вод Северного Каспия. М.: Наука. 1993. С. 122.
3. Бондаренко А.Л., Жмур В.В., Филиппов Ю.Г., Щевьев В.А. О переносе масс воды морскими и океанскими долгопериодными волнами // Морской гидрофизический журнал. Севастополь. 2004. № 5 (сентябрь - октябрь). С. 24-34.
4. Бондаренко А.Л. Лето 2010 года: жара в России и наводнения в Пакистане// Наука в России. март-апрель, № 2. 2013а. С.28-31.
5. Бондаренко А. Л. Крупномасштабная динамика и долгопериодные

- волны Мирового океана и Атмосферы. 2024 г. Монография.
6. Каменкович В.М., Кошляков М.М., Монин А.С. Синоптические вихри в океане. Л.: Гидрометеоиздат. 1982. 264с
 7. Корт В.Г. Мезомасштабная изменчивость течений и температуры в Южном океане по данным дрейфующих буёв// Океанология. 1981. т. XXI. Вып. 3. С. 405 – 415
 8. Кирилин Г.Б. Мезомасштабные вихри в озёрах // Сборник трудов Международного симпозиума “Мезомасштабные и субмезомасштабные процессы в гидросфере и атмосфере” МПС-2018. Москва. С. 421-424.
 9. Лаппо С.С. Среднемасштабные динамические процессы океана, возбуждаемые атмосферой. М.: Наука. 1979. 183 с.
 10. Монин А.С. Океанология. Физика океана. Т.1. М.: Наука. 1978. с.455
 11. Филиппов А.Т. Многоликий солитон. М. Наука. 1990. 288с.
<http://www.alternatefuel.ru/biblioteka/bibl-electric/356-filippov-at-mnogolikij-soliton?showall=1>

УДК 551.465.53(265.53)

ЯВЛЕНИЕ ЭЛЬ–НИНЬО – ЛА–НИНЬЯ ФОРМИРУЕТСЯ ВОЛНАМИ СОЛИТОНАМИ МИРОВОГО ОКЕАНА

Бондаренко Альберт Леонидович
Albert-bond@mail.ru 8-968-547-88-10

**THE EL NIÑO – LA NIÑA PHENOMENON IS FORMED BY
SOLITARY WAVES OF THE WORLD OCEAN.**

BONDARENKO A.L.

В Экваториальной области Тихого океана, существуют явления: Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Считается, что эти явления формируются течениями: явление Ла-Нинья формируется холодным течением Ла-Нинья с Юга, а явление Эль-Ниньо - тёплым течением Эль-Ниньо с Запада. Автором доклада установлено, что существуют не два явления, Эль-Ниньо и Ла-Нинья, а одно, названное Эль-Ниньо – Ла-Нинья, и формируется оно не течениями, а волнами Солитонами.

In the Equatorial Pacific Ocean, there are phenomena: El Niño and La Niña. It is believed that these phenomena are formed by currents: the La Niña phenomenon is formed by the cold LaNiña current, from the south, and the El Niño phenomenon is formed by the warm El Niñocurrent, from the west. The author of the report found that there are not two phenomena, El Niñoand La Niña, but one, called El Niño - La Niña, and it is formed not by currents, but by Soliton Waves

В Тихом океане существует область, расположенная в центре экваториальной части океана и до берегов Южной Америки. В этой области существуют явления, названные Эль–Ниньо и Ла–Нинья. Обычно в океане существует явление Ла–Нинья, при котором вода океана - прохладная, 20 – 220С, но в центральной части области опускается до 160С. Воздух Атмосферы умеренно тёплый, 22 – 240С, лёгкий ветерок, ситуация комфортная. В это же самое время, за пределами области, вода тёплая, до 300С. В это время, в этой области, океан изобилует рыбой и прочими зоологическими образованиями. Приблизительно через 15 лет существования явления Ла–Нинья, наступает явление Эль- Ниньо, оно продолжается 1,5 – 2 года, после чего снова наступает явление Ла-Нинья. Во время Эль-Ниньо температура воды повышается до 300С, рыба и всё живое гибнет, часто полностью. Влажность и температура воздуха - высокие, температура воздуха ~ 30 -32⁰ душно, на небе тучи, часто льют дожди. Считается, что эти явления формируются течениями: явление Ла-Нинья формируется холодным течением Ла-Нинья, с юга, а явление Эль-Ниньо - тёплым течением Эль-Ниньо, с запада. Автором доклада установлено, что существуют не два разных явления: Эль–Ниньо и Ла– Нинья, а одно, названное Эль–Ниньо – Ла–Нинья, и формируется оно не течениями, а Волнами Солитонами [1–6,7-9,10]. Волны Солитоны делят воды Мирового океана на две области: с циклонической завихренностью, Ц и антициклонической – АЦ (рис. 1, 2).

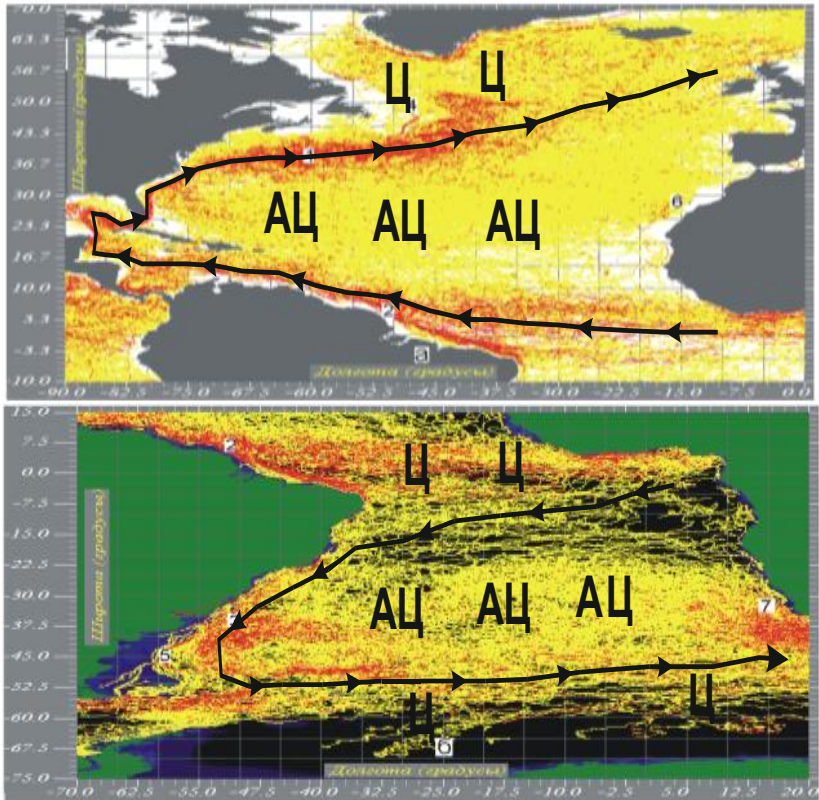


Рис. 1. Трассы дрейфтеров, запущенных в воды Атлантического океана (верхний рисунок), Тихого океана (нижний рисунок), Красным цветом выделены участки трасс дрейфтеров, в которых их скорость перемещения равна 50 см/с, а жёлтым цветом – меньше. Положение указанных трасс дрейфтеров соответствует системам струйных “течений” Волн Солитонов, распространяющихся в направлении движений дрейфтеров. Жирная, тёмная линия, проведенная через центр Струйного “течения” является границей, разделяющей области циклонических, Ц и антициклонических, АЦ усилий в Волнах Солитонах. Стрелки на жирных линиях – направление распространения Волн Солитонов. Ц, АЦ – области циклонической и антициклонической завихренности силового поля Волн Солитонов.

Существует два вида циклонических областей: Экваториальные,

расположенные между 220 Сев. и Южной. широтами и области, расположенные между 400Сев и Южной широтами и материками на севере и юге (см. рис. 1). Циклонические, Экваториальные области. В циклонических областях, Ц океанов процессы развиваются так. Волнами Солитонами совершаются процессы передачи тепла сверху в низ и с низу в верх. В Циклонической, Экваториальной областях океанов, круглогодично, поток “холода” (холодной воды) с глубины поступает вверх, а с поверхности - поток “тепла” (тёплой воды) вниз. Через поверхность океана поступает тепло в океан в виде лучистой энергии Солнца и тепла воздуха. Поток тепла всегда направлен из Атмосферы в Океан. В целом температура поверхностных вод океана будет зависеть от активности Волн Солитонов и состояния Атмосферы. Во время Ла-Нинья активность Волн Солитонов - высокая, во время Эль-Ниньо – низкая. Био- и зоо- продуктивность океана зависят от насыщенности вод химическими элементами, азотом, фосфором, поступающих со дна океана

Насыщенность вод химическими элементами зависит от скорости подъёма химических элементов, которая зависит от активности Волн Солитонов, которая, во время Ла-Нинья - высокая, во время Эль-Ниньо – низкая. Циклонические области, расположенные между 400С. и Ю. широтами и материками на севере и юге (см. рис. 1). В этих областях процессы развиваются, в основном, так же, как и в Экваториальных, но есть отличия. Зимой, глубинная вода, теплее поверхностной, поэтому зимой, поток тепла вверх – тёплый. Поток тепла через поверхность океана – тёплый. Здесь важно следующее. Во всех Циклонических областях, интенсивность поступления химических элементов вверх, а следовательно, и насыщенность ими вод, зависит от активности волн Солитонов. Вполне понятно, что процессы такие как Эль-Ниньо – Ла-Нинья происходят во всех областях, всех океанов. Но в Экваториальной области Тихого океана они наиболее заметны, достигают катастрофических размеров. Есть основание считать, что процессы типа Эль-Ниньо и Ла-Нинья происходят одновременно во всех Циклонических областях океана. Так, в 1924г. уловы рыбы в Северной области Тихого океана были небольшими, и в это же самое время, в Экваториальной области было Эль-Ниньо

В ы в о д ы.

Био-, зоо-продуктивность океанов зависит от активности Волн Солитонов. При Ла-Нинья она – высокая, при Эль-Ниньо - низкая.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко А.Л., Жмур В.В. О природе и возможности прогнозирования явления Эль-Ниньо - Ла-Нинья // Метеорология и гидрология. 2004. № 11. С.39-49.
2. Бондаренко А.Л., Жмур В.В. Закономерности формирования явления Эль-Ниньо - Ла-Нинья // Физические проблемы экологии (экологическая физика). М.: МАКС ПРЕСС. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Физический факультет. 2005. № 13. С. 35-44
3. Бондаренко А.Л. Эль-Ниньо – Ла-Нинья: механизмы формирования// Природа. 2006. №5. С. 39 – 47.
4. Бондаренко А.Л., Серых И.В. Основные закономерности формирования явления Эль-Ниньо – Ла-Нинья. 2010г <http://www.oceanology.ru/cyclones-typhoons-tornado-hurricane-forming-with-rossby-waves/>
5. Бондаренко А.Л., Серых И.В. О формировании явления Эль-Ниньо – Ла-Нинья Тихого океана. океана. Восьмая открытая Всероссийская конференция. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. Тезисы докладов. М.: ИКИ РАН 2010. С.15-19.
6. Бондаренко А.Л., Серых И.В. О формировании явления Эль-Ниньо – Ла-Нинья Тихого океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса. 2011. Т8. №2. С.57-63.
7. Бондаренко А.Л. Океаническое течение Гольфстрим и причина жаркого лета в России и дождливого в Пакистане в 2010 году. 2012б. <http://www.randewy.ru/gml/bond2010.html>
8. Бондаренко А.Л. Причина жаркого лета в России и дождливого в Пакистане летом 2010 г. 2012в. http://meteoweb.ru/articles/bondarenko_summer_2010.pdf
9. Бондаренко А.Л. Лето 2010 года: жара в России и наводнения в Пакистане// Наука в России. март-апрель, № 2. 2013а. С.28-31. http://www.oceanographers.ru/images/stories/pdf/bondarenko_rossby.doc
http://meteoweb.ru/articles/bondarenko_05_2013.pdf
10. Бондаренко А.Л. Новые представления о формировании явления Эль-Ниньо – Ла-Нинья. 2015а. <http://meteoweb.ru/2015/aa0005.pp>

**УЧЕННЫЕ ИНСТИТУТА ОКЕАНОЛОГИИ ИМ. П. П.
ШИРШОВА РАН О ДЛИННОВОЛНОВОЙ ПРИРОДЕ ТЕЧЕНИЙ
В ОКЕАНАХ**

Щевьев В. А.

*Институт водных проблем РАН,
УЛ. Губкина, 3, 119333, г. Москва, 8(499)135-73-80,*

**SCIENTISTS OF SHIRSHOV INSTITUTE OF OCEANOLOGY RAS
ON THE LONG-WAVE NATURE OF CURRENTS IN THE
OCEANS**

Shtchev V. A.

*Water Problems Institute of the RAS,
St.. Gubkina, 3, 119333, Moscow, 8(499)135-73-80,
shtshev@rambler.ru*

Большинство ученых, анализируя результаты эксперимента ПОЛИМОДЕ, сделали вывод, что зарегистрированы вихри. Но С. С. Лаппо писал: «Наступил **волновой этап** в исследовании течений». Приводится ряд работ, подтверждающих эту мысль.

Most scientists, analyzing the results of the POLIMODE experiment, concluded that vortices were registered. But S.S. Lappo wrote: "The wave stage in the study of currents has arrived." A number of works are cited that confirm this idea.

Лаппо Сергей Сергеевич на основе анализа наблюдений результатов ПОЛИМОДЕ сделал вывод: «Анализ наблюдений за течениями обнаружил существенную изменчивость динамического состояния вод, особенно на глубинах более 1000 м., что весьма резко расходилось с существовавшими теоретическими концепциями. Эти наблюдения привели к **коренному пересмотру** представлений о динамике океана. Наступил **волновой этап** в исследованиях течений океанов» [1].

«Общие представления о физических процессах в океане дают энергетические спектры (рис. 1). Спектр изменчивости

скоростей течений содержит узкий пик приливного характера. Рядом с ним появляется также узкий и еще более мощный пик инерционных колебаний скоростей течений. Далее отчетливо выражен глубокий минимум, спад энергии пульсаций почти до нуля на периодах 2 – 4 суток. Этот минимум является как раз зоной раздела мезомасштабных и синоптических колебаний в изменчивости скоростей течений. Затем на интервале периодов от 15 до 100 суток расположен синоптический максимум изменчивости горизонтальных движений, и видно, что энергия, отвечающая этому локальному максимуму, превышает энергию приливных и инерционных колебаний в скоростях течений. Из этих спектров видно, что в водах океана преобладают более **низкочастотные колебания** по сравнению с атмосферой, среди которых наиболее низкочастотными являются температурные вариации.

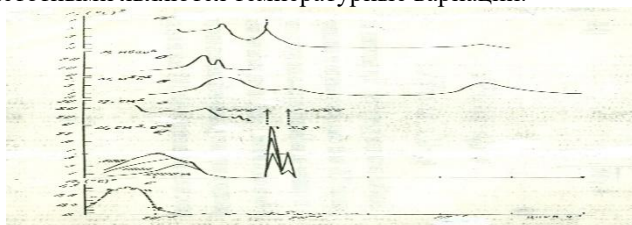


Рис. 1. Спектры изменчивости характеристик атмосферы и океана. [1]. а – температуры воздуха в приземном слое (Колесникова, Монин, 1965); б – атмосферного давления (Намон, 1962); в – скорости ветра в нижнем слое атмосферы (Van der Hoven, 1957); г – приведенного уровня океана (Намон, 1962); д – скоростей течений на горизонтах 500, 1000 и 2000 м в западной точке Атлантического океана, точка Д (Rhines, 1971); е – температуры воды на горизонте 500-600 м у Бермудских островов (Wunsch, 1972).

Вышеприведенные спектры прежде всего говорят о важности самостоятельного изучения среднemasштабных процессов в атмосфере и океане как интенсивных высокоэнергетических движений».

Корт В.Г. (1981) [2], на основе анализа дрейферных наблюдений в Циркумполярном течении показал, что траектории дрейфа буев испытывают существенные изменения как по направлению, так и по скорости за разные периоды времени (от суток до месяцев). Почти каждая траектория буя на всем протяжении имеет **волновой** характер. Волновые колебания имеют периоды 5-20 суток и длину волны от 200 до 400 км. Волновые колебания с такими

параметрами весьма близки к параметрам первой моды бароклинных волн Россби.

Очень ценные результаты измерений находим в книге [3]. «По данным станции погоды «Танго» в Тихом океане к югу от Куросио ядро главного термоклина располагалось на глубине 600 м. На (рис. 2. слева) представлены колебания глубин залегания изопикнических поверхностей. Преобладающий период колебаний равен 95 суток. Вероятно, эти колебания связаны с прохождением через точку наблюдений бароклинных синоптических вихрей. Амплитуда смещений превышает 100 м».

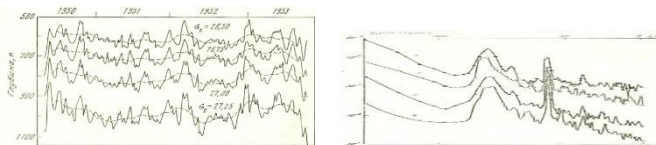


Рис. 2. Низкочастотные колебания глубины залегания изопикнических поверхностей по наблюдениям в 1950-1953 гг., станция «Танго» (24 с.ш., 135 в.д.) (Ясуи 1964). (Слева). Спектральная плотность кинетической энергии горизонтальных компонент скорости по данным 6-месячных наблюдений на Атлантическом полигоне 1970 г. (Василенко В.М., Мирабель А.П., Озмидов Р.В. 1976.). (Справа).

Энергетические спектры пульсаций горизонтальных компонент скорости в интервале периодов от 2 ч. до 15 суток для горизонтов наблюдений 25, 100, 500, 1500 м. Атлантического полигона (рис. 2 справа).

Американские океанологи выполнили программу TWE (Trade Wind Expeditions) в 1964 - 1965 гг. в районе Гавайских островов. (Wyrtki, 1967). Эволюция картины синоптических возмущений температуры на разрезе в районе 25 с.ш. исследовали (Bernstein, White, 1974). На рис. 3. отчетливо видно, что скорость перемещения на запад синоптических возмущений температуры в среднем составляла 4,5 см/с. Это обстоятельство привело Бернштейна и Уайта к выводу, что, так же, как и на «Полигоне - 70» (Koshlyakov, Grachev, 1973), перемещение на запад наблюдаемых во время TWE возмущений температуры носило преимущественно **волновой** характер. Преобладающая зональная длина волны возмущений температуры была равна, примерно 400 км.

Наиболее вероятную причину образования экваториальных течений в виде волн нам помогла выявить работа А. С. Монина, Ю. А.

Шишкова «История климата» {4}, в которой показано, что течения вдоль экватора с востока на запад возникают из-за ежедневно изменяющихся воздействий приливообразующих сил Луны и Солнца (ПОСЛ и С) на водную массу вблизи экватора (гипотеза И. Канта).

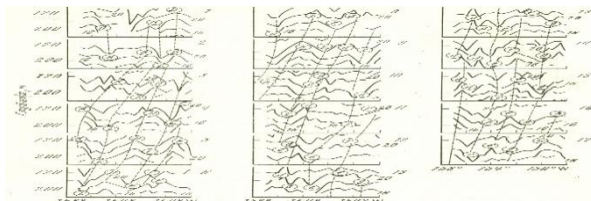


Рис. 3. Последовательные распределения температуры (С) в верхней части термоклина на повторенном 16 раз квазизональном разрезе TWE в районе 25 с. ш. (февраль 1964 г. – май 1965 г.) (Bernstein, White, 1974). Латинские буквы идентифицируют отдельные максимумы и минимумы температуры; положения этих экстремумов соединены штриховыми линиями.

Вальтер Манк (Walter Munk) один из наиболее известных океанологов несколько раз посещал ИО РАН. В начале 1970-х годов на семинаре в Люблино выступил с докладом про **влияние Луны на циркуляцию в океане**.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаппо С. С. Среднемасштабные динамические процессы океана, возбуждаемые атмосферой. М., Наука, 1979. 182 с.
2. Корт В. Г. Мезомасштабная изменчивость течений и температуры в Южном океане по данным дрейфующих буев. Океанология. 1981 г. Т. XXI. Вып. 3. С. 405-415.
3. Океанология. Физика океана. Гидрофизика океана». Т. 1. М. Наука. 1978. Ред. Каменкович В. М., Монин А. С.
4. Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. Л. Гидрометеоздат, 1979. 408с.
5. Munk W., Wunsch C. Abyssal recipes II: energetics of tidal and wind mixing. Deep-Sea Research I 45. 1998. pp. 1977-2010
6. Щевьёв В. А. Физика течений в океанах, морях и в озерах. История поисков, размышлений, заблуждений, открытий. 2012 г. Изд-во LAMBERT Academic Publishing. ISBN: 978-3-8484-1929-6

КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ЦИРКУЛЯЦИИ МИРОВОГО ОКЕАНА

Щевьев В. А.

*Институт водных проблем РАН,
119333, г. Москва, ул. Губкина, 3, 8(499)135-73-80
shtshev@rambler.ru*

LARGE-SCALE CIRCULATIONS OF THE WORLD OCEAN

Shtchev V. A.

*Water Problems Institute of the RAS,
ul. Gubkina, 3, 119333, Moscow, 8(499)135-73-80
shtshev@rambler.ru*

Известно, что отдельно в северных и южных частях Атлантического, Тихого и Индийского океанов существуют **антициклонические** крупномасштабные циркуляции. Гораздо менее известно, что в тех же районах этих океанов существуют **циклонические** циркуляции, самыми известными частями которых являются экваториальные противотечения.

It is known that anticyclonic large-scale circulations exist separately in the northern and southern parts of the Atlantic, Pacific and Indian oceans. It is much less known that in the same areas of these oceans there are cyclonic circulations, the most famous parts of which are the equatorial countercurrents.

В Атлантическом, Тихом и Индийском океанах существуют антициклонические (по часовой стрелке в северных частях океанов и против в южных) круговороты вокруг соответствующих атмосферных субтропических антициклонических центров действия. Большинство исследователей до сих пор считают, что эти течения образуются в результате воздействия на водную поверхность весьма устойчивых ветров – пассатов [1].

Анализ результатов многочисленных опубликованных работ показал, что около 20 исследователей пришли к выводу, что **приливообразующие силы Луны** (и Солнца) образуют течения вдоль экватора с востока на запад в трех океанах. Они достигают западных

берегов океанов, растекаются на север и на юг, давая начало крупномасштабным антициклоническим циркуляциям отдельно в северных и южных частях океанов (рис. 1).

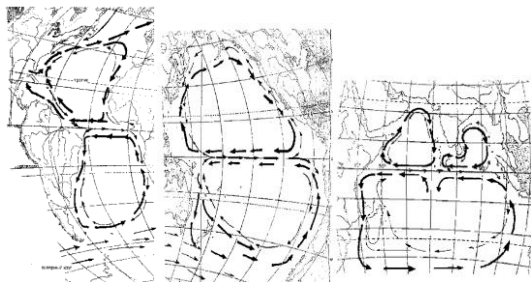


Рис. 1. Крупномасштабные антициклонические (толстые линии) и циклонические (тонкие линии) циркуляции в Атлантическом (слева), в Тихом (в середине), и в Индийском океанах (справа).

Иммануил Кант предложил механизм образования экваториальных течений приливообразующими силами Луны (и Солнца) в соответствии с которым эти силы тащат воду вдоль экватора с востока на запад. Таким образом возникает течение вдоль экватора, образуя крупномасштабные антициклонические циркуляции [3].

Существование **антициклонических** циркуляций (по часовой стрелке в северном полушарии и против в южном) не вызывает сомнения, а наличие в тех же частях (северных и южных) трех океанов **циклонических** циркуляций менее известно.

Самым известным проявлением **циклонических** циркуляций являются экваториальные противотечения, которые были открыты в 50 - 60х годах прошлого века (Ломоносова в Атлантике, Тареева в Индийском, Кромвела в Тихом океанах) [3].

Известны и другие ветви **циклонической** циркуляции. В 1969 г. открыто Антило - Гвианское противотечение протяженностью 3900 миль от Багамских островов до экватора. По мнению ученых, открывших Антило - Гвианское противотечение, оно выступает как северный источник течения Ломоносова [4].

Обнаружен и исток Антило - Гвианского противотечения. С левой стороны Гольфстрима проходит холодное Лабрадорское течение. В октябре 1962 в районе м. Хаттерас на глубине 800 - 2500 м. инструментально был зарегистрирован поток, направленный на юг - Глубинное Западное Пограничное Течение (ГЗПТ). К северо-востоку

от м. Хаттерес ГЗПТ располагается на левом фланге Гольфстрима, а когу оказывается на его правом фланге. ГЗПТ проходит через Гольфстрим в районе м. Хаттерас. Это дает основание предположить, что здесь зафиксировано начало Антило-Гвианского глубинного противотечения. По существу, это составные части **циклонической** крупномасштабной циркуляции в Северной Атлантике.

С юга от экватора наблюдается поток **Бразильского противотечения**, которое служит **вторым** источником течения Ломоносова. Ангольское течение южного направления является **продолжением** течения Ломоносова на юг. В 1968 г. французскими океанологами было обнаружено Гвинейское глубинное противотечение, направленное на запад на глубинах 40 - 200 м с 0° до 8° з. д. Оно является **стоком** течения Ломоносова на север и на запад.

Мальвинское течение (МТ) – это западная часть **циклонической крупномасштабной циркуляции Южной Атлантики** несет холодные воды Антарктики в направлении экватора.

В Тихом океане течение Кромвела направлено на восток, пересекает весь Тихий океан. Его длина 16 тыс. км. Его источником является течение Минданао, идущего на юг со стороны острова Минданао (Филипины), и также воды из пролива между Зондскими островами, а в нижних его слоях – это воды Кораллового моря, омывающего северо – восточное побережье Австралии. Глубже 250 – 300 м. восточный поток на экваторе сменяется западным направлением вод. У берегов Эквадора течение Кромвела служит источником вдоль берегового Перу – Чилийского подповерхностного противотечения. [3].

Аналогично различные исследователи наблюдали отдельные ветви циклонических циркуляций в северных и южных частях Индийского океана.

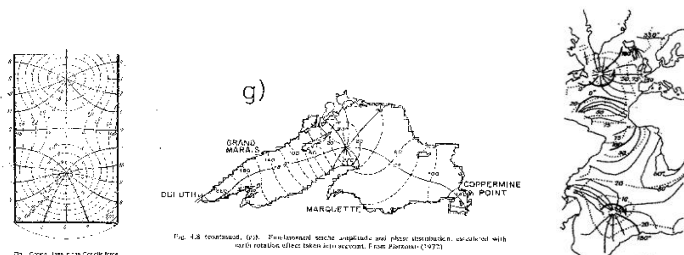


Рис. 2. Линии равной фазы в бассейне прямоугольной формы (слева), в оз. Эри (в середине) и в Атлантическом океане (справа).

Наиболее вероятной причиной образования циклонических циркуляций в северных и южных частях океанов является Каналовая теория Эри, в соответствии с которой в результате ежедневного воздействия приливообразующих сил Луны и Солнца на бассейн прямоугольной формы происходит циклоническое вращательное движение наклонной поверхности моря вокруг некоторой неподвижной точки (рис. 2 слева). Такое движение показывает расположение котидальных линий, линий равной амплитуды и равной фазы. Наиболее вероятно, что такое ежесуточное движение может привести к образованию течений волновой природы, обтекающего бассейн моря в том же направлении, циклонически, такой – же процесс зарегистрирован в озере Эри (рис. 2 в середине) и в Атлантическом океане (рис. 2 справа). [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Монин А.С., Каменкович В.М., Корт В.Г. Изменчивость мирового океана. Л.: Гидрометеоиздат. 1974. 262с.
2. Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. Л. Гидрометеоиздат, 1979. 408с.
3. Монин А. С., Корчаргин Н. Н. Десять открытий в физике океана. М., Научный мир 2008.
4. Корт В. Г. Антило – Гвианское противотечение. I съезд советских океанологов. Тезисы докладов. Вып. 1. Физика океана. Морская техника. Издательство «Наука». М. 1977. С. 16 – 17.
5. Щевьёв В. А. Физика течений в океанах, морях и в озерах. История поисков, размышлений, заблуждений, открытий. 2012 г. Изд-во LAMBERT Academic Publishing. ISBN: 978-3-8484-1929-6
6. Щевьёв В. А. Физика течений в океанах, морях и в озерах. Сокращенный вариант книги. <http://www.randewy.ru/gml/shev5.html>
7. Щевьёв В. А. Физика волн в океанах, морях и озерах. Историческая драма идей, поисков, размышлений, заблуждений, открытий. М. Бит-принт 2019. 295 стр.

УДК 551.463

**ЭВОЛЮЦИЯ ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ
ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ ЧЕРНОГО МОРЯ В ТЕЧЕНИЕ
ПОСЛЕДНИХ ТРЕХ ДЕСЯТИЛЕТИЙ**

Булыгин А.М., Воронцов А.А., Вишнев О.Г

*Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных,
249035, Калужская обл., Обнинск, ул. Королева, 6, +7(484)396-40-85,
wdcb@meteo.ru*

**EVOLUTION OF THE THERMOHALINE STRUCTURE OF THE
ACTIVE LAYER OF THE BLACKSEA DURING THE LAST THREE
DECADES**

Bulygin A.M., Vorontsov A.A., Vishnev O.G.

*All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information –
World Data Center, 249035, KalugaReg., Obninsk, Korolevstr, 6,
+7(484)396-40-85, wdcb@meteo.ru*

По данным глубоководных судовых, буйковых и спутниковых измерений продемонстрирован рост температуры и солености верхнего 500-метрового слоя в Черном море за период с 1993 по 2024 годы, оценены величины роста.

According to deep-sea ship, buoy and satellite measurements, an increase in temperature and salinity of the upper 500-meter layer in the Black Sea has been demonstrated for the period from 1993 to 2024, and the growth values have been estimated.

Ключевые слова: Черное море, температура, соленость, T-S кривые, потепление, осолонение

Key words: Black Sea, temperature, salinity, T-S curves, warming, salinization

В работе использованы три основных источника данных наблюдений за гидрологическими параметрами Черного моря: 1) глубоководные судовые наблюдения и данные береговых морских

станций (МГ), хранящиеся в регулярно пополняемом Государственном фонде гидрометеорологических данных [1]; 2) данные, получаемые с помощью профилирующих буев, выполняющих измерения в рамках международной программы ARGO [2]; 3) спутниковые наблюдения за температурой поверхности моря [3].

Потепление климата планеты проявилось в изменениях термохалинной структуры Мирового океана, его окраинных и внутренних морей. В Черном море начиная с 1993 года отмечается устойчивый положительный тренд температуры деятельного слоя моря. В среднем, рост среднегодовой температуры верхнего квазиоднородного слоя за этот период в 30 лет приближаются к трем градусам. В центральной части Черного моря в летние месяцы он уже превысили 3.0 °С.

Увеличение температуры зафиксировано до глубин в несколько сотен метров. На горизонте 200 м прирост среднегодовой температуры за 30 лет составил более одной десятой градуса (рисунок 1). Глубже изменения менее заметны. На глубинах ~ 500 м они составляют одну, максимум – две сотых градуса, что меньше погрешности вычисления среднегодовых значений по нерегулярным данным.



Рис. 1 – Среднегодовые значения температуры воды по районам 1-3

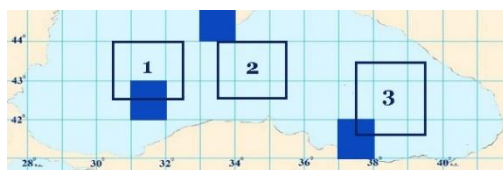


Рис. 2. – Границы районов, по которым проведены расчеты, представленные на рисунке 1. Закрашенные синие трапеции показывают местоположение трапеций №№ 17721, 17743 и 17717

Рисунок 2 иллюстрирует местоположение частей акватории Черного моря, для которых выполнялись расчеты среднегодовых

значений солености воды, представленные на рисунке3, и одноградусные трапеции по данным измерений в которых построены, показанные на рисунке 4Т-Скривые.

Соленость в Черном море, по сравнению с температурой воды, является более консервативной характеристикой, ее межгодовые изменения выражены слабее. С другой стороны, если температура воды в течение последних 30-ти лет росла по всей акватории Черного моря, то изменения полей солености за этот же период оказалась более сложными.

В северной и центральной зонах глубоководной части Черного моря за период после 1993 года и до 2012 года среднегодовые значения солености, рассчитанные по одноградусным трапециям Марседена незначительно, но уменьшались. В южной части акватории моря тренд был скорее нейтральным. В последующие годы и до настоящего времени рост солености в деятельном слое Черного моря наблюдается повсеместно [5, 6].

Срочные измерения солености, которые проводятся в основные синоптические сроки 4 раза в сутки на морских береговых станциях (МГ), также иллюстрируют устойчивый рост солености после 2010 года в Ялте и после 2016 года в Херсонесе (рисунок 3). Тридцатилетний линейный тренд изменчивости среднегодовых значений солености воды на этих МГ, как и на всех других станциях российского побережья Черного моря, положительный.

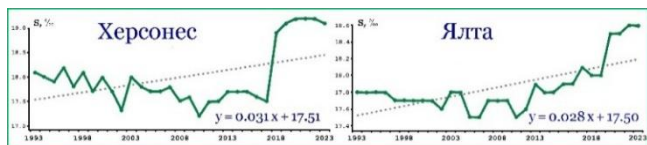


Рис. 3. – Графики среднегодовых значений солености, ‰

На рисунке 4 показаны T-S кривые, построенные по данным измерений в верхнем 500-метровом слое в период с 1993 по 2016 гг. и с 2017 по 2024 годы включительно. Анализ выполнен по данным объединенного массива глубоководный судовых наблюдений, который был дополнен измерениями, выполненных профилирующими буйами. Использованы данные получаемые с профилирующих буйев начиная с 2017 г. В связи со сменой датчиков определения солености, качество буйковых измерений после 2016 года существенно повысилось.

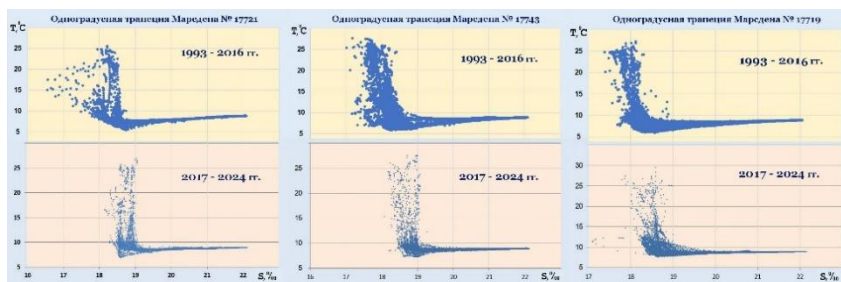


Рис. 4. – T-S кривые. Трапеции Марседена №№ 17721, 17743 и 17717

Рисунок 4 наглядно демонстрирует рост солёности в верхнем 500-метровом слое Чёрного моря. Трапеции располагаются: № 17721 – в южной части западной стационарного круговорота, № 17743 – у южного берега полуострова Крым, 17717 – в юго-восточной части акватории Чёрного моря (см. рисунок 2). Дополнительно отметим, что солёность растёт во все сезоны года. Максимальные изменения наблюдаются в августе – сентябре и в верхнем 50-метровом слое.

Прирост среднегодовых значений за анализируемый период находится в пределах 0,5 ‰. Исключение составляет акватория моря на траверзе пролива Босфор, где прирост солёности более значительный. Здесь максимальное увеличение солёности наблюдается на горизонте 100 м [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://meteo.ru/>
2. <http://argo.ucsd.edu/>
3. <http://data.marine.copernicus.eu/>
4. Булыгин А.М., Грузинов В.М., Воронцов А.А., Дьяков Н.Н., Проценко С.А. Новая география Чёрного моря. Калуга. 2023. 208 с.
5. Подымов О. И., Зацепин А. Г., Очередник В. В. Рост солёности и температуры в деятельном слое северо-восточной части Чёрного моря с 2010 по 2020 год // Морской гидрофизический журнал. 2021. Т. 37, № 3. С. 279–287. <http://doi:10.22449/0233-7584-2021-3-279-287>
6. Stanev E. V., Peneva E., Chtirkova B. Climate change and regional ocean water mass disappearance: case of the Black Sea // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2019. Vol. 124, P. 4803–4819. <https://doi.org/10.1029/2019JC015076>.

УДК 551.465

**ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ТЕЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ
ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ ПРОФИЛИРУЮЩИХ БУЕВ НА
ПРИМЕРЕ ЧЕРНОГО МОРЯ**

Булыгин А.М., Воронцов А.А.

*Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных,
249035, Калужская обл., Обнинск, ул. Королева, 6, +7 (910) 513-
99-91, Bam524@mail.ru*

**ESTIMATION OF CURRENT PARAMETERS BASED ON THE
TRAJECTORIES OF PROFILING BUOYS USING THE EXAMPLE OF
THE BLACK SEA**

A.M. Bulygin, A.A. Vorontsov

*All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information –
World Data Center, 249035, KalugaReg., Obninsk, Korolevstr, 6,
+7(910)513-99-91, Bam524@mail.ru*

По траекториям движения профилирующих буйев оценены параметры течений в Черном море.

The parameters of currents in the Black Sea are estimated based on the trajectories of the profiling buoys.

Ключевые слова: Черное море, профилирующие буи, течения
Key words: Black Sea, Profiling Buoys, Currents

Параметры течений определены на основе анализа траекторий движения профилирующих буйев, выполняющих измерения в Черном море. Использован находящийся в свободном доступе массив данных наблюдений, выполненных в рамках международной программы АРГО [1] за период с 2013 по 2023 гг.

Алгоритм действий профилирующих буйев включает в себя несколько циклически повторяющихся этапов работы. Буй дрейфует на заданной (парковочной) глубине в течение нескольких суток. Затем

он погружается на глубину профилирования. Обычно она составляет 500, 1000 или 1500 метров. Далее всплывая буй проводит измерения заданных параметров, чаще всего – температуры и солености воды. После чего он передает полученные данные на спутник и вновь погружается на глубину дрейфа до следующего цикла. Для буев, имеющих глубину дрейфа 200 метров, базовым временным циклом профилирования является пятисуточный.

Известные координаты местоположения буя в каждом цикле и время, прошедшее между циклами, позволяют вычислить среднюю скорость дрейфа буя за каждые пять суток. Это значение, с некоторой погрешностью, может рассматриваться в качестве средней скорости течений в данном районе на парковочном горизонте. Полученные значения средней скорости и направления течений содержит ошибку, связанную с тем, что не все пять суток буй находился на парковочной глубине, а также всплывал и погружался, находился на поверхности моря (в среднем в течение 30 минут) при передаче данных наблюдений на спутник. Можно показать, что средняя величина ошибки определения скорости течений за цикл составляет менее 10%.

Пример траектории профилирующего буя показан на рисунке 1. В показанной части акватории Черного моря в течение 2019 года буй попадал дважды. Первый раз с 30 апреля по 3 июля. Второй раз – с 6-го октября по 5 марта 2020 года.



Рис. 1. Пример траектории движения профилирующего буя

Траектория движения в мае – июле показывает наличие Батумского антициклонического вихря, который в летние месяцы проявляется достаточно ярко. В зимние месяцы он, как правило, отсутствует. В теплый период года движения воды, данном случае на горизонте 200 м, становятся достаточно хаотичными [2, 3].

На рисунке 2 показан пример траектории движения буя, запущенного 24 июля 2020 г. в западной части Черного моря. Через 15

месяцев (21 января 2023 г.) буй вернулся почти в точку запуска совершив полный «круг» по акватории моря. По времени и координатам завершения каждого цикла профилирования, на рисунках 1 и 2 они обозначены белыми цифрами, оценивалась средняя скорость дрейфа буя за каждый пятидневный период. Соответствующие оценки выполнены по всем профилирующим буйам, парковая глубина дрейфа которых составляла 200 м.



Рис. 2. Пример траектории движения профилирующего буя

На основе данных о траекториях профилирующих буйев были оценены как средние, так и максимальные значения скоростей течений на горизонте 200 м как для сезонов года, так и для каждого месяца. На рисунке 3 приведены карты средних зимних и летних скоростей течений.

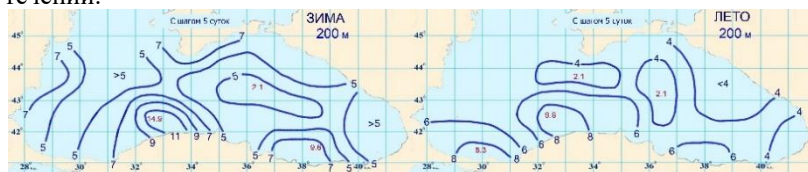


Рис. 3. Средние скорости течений на горизонте 200 м

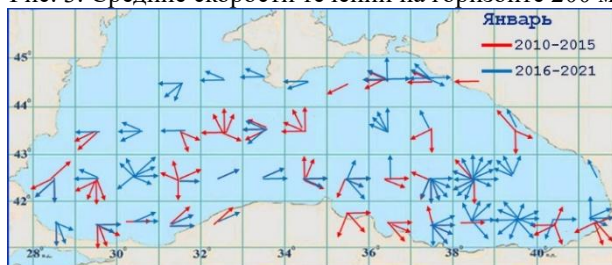


Рис. 4. Направления течений. Горизонт 200 м. Январь.

Имеющиеся данные позволяют определить вектора скоростей течений [4], в данном случае, за каждые пять суток. По ним были рассчитаны средние значения модулей скоростей течений путем осреднения модулей скоростей дрейфа всех буев, находившихся в исследуемом месяце/сезоне, в заданной трапеции (рисунок 3).

На рисунке 4 направления дрейфа буев показаны стрелками. Каждая стрелка иллюстрирует направление дрейфа одного буя за один период между циклами. В случае, когда в одном и том же направлении дрейфовали несколько буев или один и тот-же буй дрейфовал в одном и том же направлении в течение нескольких циклов, это не приводило к увеличению количества стрелок. Однако на этих рисунках показаны все наблюдавшиеся направления дрейфа. Начало стрелок соотнесено с центрами одноградусных трапеций. Это сделано для упрощения процедуры представления результатов. В реальности буй мог начинать каждый новый этап своего движения из любой точки трапеции.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. ARGO Data Management. – [Электронный ресурс] URL: <http://www.ARGOfdatamgt.org/> (Последнее обращение 18.05.2024 г.).
2. Маркова Н. В., Багаев А. В. Оценка скоростей глубоководных течений в Черном море по данным дрейфующих буй-профиломеров Argo. - Морской гидрофизический журнал. 2016, № 3, С. 26-38.
3. Korotaev, G. Intermediate and deep currents of the Black Sea obtained from autonomous profiling floats / G. Korotaev, T. Oguz, S. Riser // Deep-Sea Res. II: Topical Studies in Oceanography. – 2006. – 53, № 17–19. – P. 1901–1910.
4. Milanova, M. Deep Black Sea circulation described by Argo profiling floats / M. Milanova, E. Peneva // Annual of Sofia University St. Kliment Ohridski, Faculty of Physics. – 2016 – № 109. – 12 p.

ПРИМЕНЕНИЕ EMD МЕТОДА ДЛЯ ПРОГНОЗА ТРЕНДОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА

Яхрюшин В.Н.

*ФГБУ «НПО «Тайфун», 249038, Обнинск, ул. Победы, 4
т.484971540, факс.4843940910, yakhryushin@mail.*

APPLICATION OF THE EMD METHOD FOR FORECASTING THE TREND COMPONENT OF OCEAN SURFACE TEMPERATURE

Yakhryushin V.N.

FGBU «NPO «Typhoon», 249038, Obninsk, st. Pobeda, 4

В докладе рассматривается возможность применения метода эмпирической модовой декомпозиции (EMD) для анализа данных со станций наблюдения расположенных на берегу океана и получения прогноза трендовой составляющей температуры поверхности океана (ТПО).

The report examines the possibility of using the empirical mode decomposition (EMD) method to analyze data from observation stations located on the ocean coast and obtain a forecast of the trend component of ocean surface temperature (SST).

Ключевые слова: температура поверхности океана (ТПО), тренд, прогноз, EMD метод.

Key words: ocean surface temperature (SST), trend, forecast, EMD method.

В настоящее время большое внимание уделяется изучению тенденции и колебаний различных временных масштабов температуры, влагосодержания приземного воздуха, давления, осадков и др. и влиянию их на климатические параметры [1]. Для изучения таких периодических колебаний и характера изменения климата в настоящее время все чаще и чаще применяется EMD метод [2].

Для проведения EMD анализа были отобраны временные ряды с температурой поверхности океана (ТПО) со станций (L - La Jolla, F - Southeast Farallon Island, N- Newport Beach, P- Pacific Grove)

расположенных на тихоокеанском побережье США см. таб.1. Данные доступны на сайте sccoos.org. Температурные ряды этих станций имеют продолжительность наблюдений около 100 лет и более с дискретностью наблюдения сутки и высокой полнотой данных. Дополнительно к этим наблюдениям были добавлены данные среднегодовой ТПО, начиная с 1888 года.

Табл. 1(Станции наблюдения)

	Широта	Долгота	Начало наб.	Конец наб.	Полнота
L	32°52'01.0"N	117°15'25.7"W	28.06.1916	25.11.2024	96.7%
P	36°37'13.2"N	121°54'12.1"W	20.01.1919	25.11.2024	94.9%
N	33°36'24.1"N	117°55'48.7"W	01.11.1924	25.11.2024	96.7%
F	37°41'47.2"N	122°59'59.4"W	01.05.1925	25.11.2024	80.4%

По всем отобранным данным для каждой станции были проведены расчеты и получены EMD эмпирические моды. На рисунке 1 показаны трендовые составляющие ТПО рассчитанные по полученным модам для каждой из 4 станций а) - L,N; б) - P,F; в) среднегодовой ТПО.

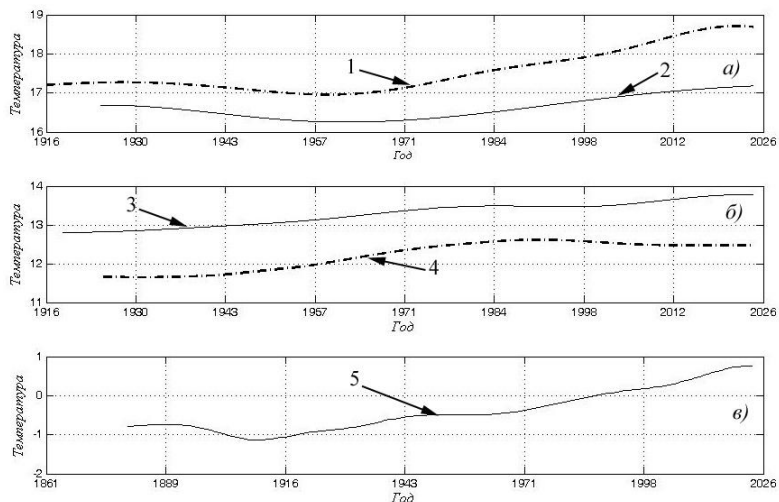


Рис. 1 Трендовые составляющие ТПО, рассчитанные EMD методом для 1 - Newport Beach, 2 - La Jolla, 3- Pacific Grove 4 - Southeast Farallon Island и среднегодовой ТПО – 5.

По представленным трендовым составляющим станций можно оценить, что температура ТПО за последние 100 лет увеличилась на

0.5 – 1.5°C , а по среднегодовым данным увеличилась ~1.5°C. Так же можно отметить, что после 1970 года возросло ускорение нарастания температуры в сравнении с предыдущим периодом, что отмечается некоторыми авторами [2,3,4].

Используя авторский метод, предложенный в [5,6] построим прогноз на 2010-2023 по среднегодовым данным. К расчетному прогностическому ряду ТПО применим EMD метод, проведем оценку тренда среднегодовых ТПО по модам и сопоставим ее с трендом, полученным по реальным данным. Оценим полученное расхождение между прогностическими и реальными данными. Теперь используя данный метод, строим прогноз на 2024-2050 гг. и по нему оценим увеличение среднегодовой температуры по трендовой составляющей на 2050 год, который составил ~0.37°C. В качестве иллюстрации метода на рис.2 показан ход тренда, рассчитанный по реальным данным и по прогностическим.

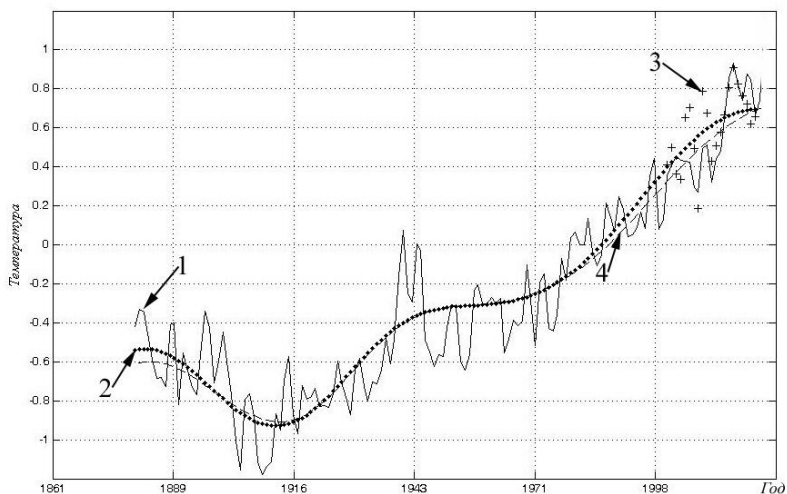


Рис.2 Прогностический и реальный тренд для прогноза 2010-2023 гг. полученный на основе EMD метода. 1 – реальный ход среднегодовой ТПО, 2 – тренд, рассчитанный по реальным данным, 3 – модельный прогноз, 4 – тренд, рассчитанный по прогностическим данным.

Ниже в таблице 2 приведено сравнение оценки изменения трендовой составляющей ТПО для станций и среднегодовой ТПО рассчитанные EMD методом для 2000-2023 гг. и оценки тренда ТПО полученного по модельным данным. Дополнительно для каждой

станции наблюдения и среднегодовой ТПО были сделаны прогностические расчеты изменения трендовой составляющей на 2050. В приведенной таблице видно, что чем выше полнота данных и чем длиннее по времени ряд наблюдений, тем точнее можно получить и прогностическую оценку для трендовых составляющих.

Таб.2 (Расчеты трендов 2000-2023гг. и 2023 – 2050гг.)

Станция	Повышение в °С тренда реальный	Повышение в °С тренда по прогнозу	Ошибка	Повышение в °С тренда на 2050г.
ТПО среднегодовая	0.54	0.48	0.06	0.37
N	0.9	1.09	-0.19	1.8
L	0.34	0.24	0.1	0.12
F	0.3	0.63	-0.33	0.9
P	0.03	0.1	-0.097	0.1

ЛИТЕРАТУРА

1. Покровский, О. М. Изменения температуры поверхности океана в Северной Атлантике и колебания климата Европы // Исследование Земли из космоса - 2005. - №3. - С. 1-11.
2. Che-Wei Chang Hydrological Data Projection Using Empirical Mode Decomposition: Applications in a Changing Climate / Jung-Chen Lee, Wen-Cheng Huang // Water – 2024. -№16. – С. 1-16.
3. Zhiyuan Wu Hybrid improved EMD-BPNN model for the prediction of sea surface temperature / Changbo Jiang, Mack Conde, Bin Deng, Jie Chen // Ocean Science – 2019. - №15. - С. 349-360.
4. Wen-Cheng Huang Projection of Sea Surface Temperature Based on Empirical Mode Decomposition and Its Application in Typhoon Number Forecast / Jung-Chen Lee // Journal of Marine Science and Technology – 2023 – Vol.31: Iss 2. – С. 157-172.
5. Яхрющин, В.Н. Прогнозирование: Новый взгляд. Торгуем по сценарию // Chronos Экономические науки. – 2020 - №3(28). - С. 4-8.
6. Яхрющин, В.Н. Метод анализа и прогноза среднегодовых температурных рядов метеостанций // Международная конференция: Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования. Тезисы докладов. – Москва, 2023. - С. 127.

**О МУЛЬТИДЕКАДНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ
ОКЕАН – АТМОСФЕРА - КОНТИНЕТ**

Бышев В.И.¹, Гусев А.В.^{1,2}, Сидорова А.Н.¹

*¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997, Москва, Нахимовский проспект, д.36, 8(499)129-19-81
E-mail: labbyshev@ocean.ru*

*²Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН,
119333, Москва, ул. Губкина, д.8, 8(495) 984-81-20
E-mail: anatoly.v.gusev@gmail.ru*

**ON MULTIDECADAL VARIABILITY OF THE THERMODYNAMIC
STATE OF THE OCEAN-ATMOSPHERE-CONTINENT SYSTEM**

Byshev V.I.¹, Gusev A.V.^{1,2}, Sidorova A.N.¹

*¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences
36 Nakhimovsky Prosp., Moscow 117997, Russia*

*²Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Sciences,
8, ul. Gubkina, Moscow 119333, Russia*

Динамика современного климата отражает связь с мультидекадной изменчивостью термодинамического состояния верхнего деятельного слоя (ВДС) Мирового океана, о чем свидетельствуют наблюдения. Наличие в океане таких процессов как глубокая конвекция, трансфронтальный обмен полярными и субтропическими водами, вихревая активность позволяют ВДС океана быстро изменять термодинамический режим, определяя тем самым в системе климатический сдвиг.

The dynamics of the modern climate reflects a connection with multidecadal variability in the thermodynamic state of the active upper layer (AUL) of the World Ocean, as evidenced by observations. The presence in the ocean of such processes as deep convection, transfrontal exchange of polar and subtropical waters, and eddy activity allow the ocean's AUL to quickly change the thermodynamic regime, thereby determining a climate shift in the system.

Ключевые слова: современный климат, фазовая изменчивость, Мировой океан, признак континентальности, циркуляция вод, Гольфстрим, Курошио

Key words: modern climate, phase variability, World Ocean, sign of continentality, water circulation, Gulf Stream, Kuroshio

Динамика современного климата, как показывают исследования [1, 2], испытывает влияние Мирового океана, которое проявляется в изменчивости индекса его континентальности. Снижение влияния океана на планетарный климат проявляется ростом признака (индекса) континентальности климата, наблюдаемого по распространению засух, природных пожаров, других сопутствующих явлений. Рост же влияния океана на климат, напротив, характеризуется противоположной тенденцией: повсеместным сокращением засух и природных пожаров. то есть снижением признака (индекса) континентальности. Обнаружено, что фазы климата с усилением и ослаблением влияния океана на климат составляют 25-35 лет, а процесс фазового перехода происходит стремительно (за 2-3 года) и неожиданно [3]. Понимание подобного поведения климатической системы чрезвычайно важно как с научной, так и с практической точек зрения. Очевидно, что динамика текущего климата испытывает определенную ритмику внутрисистемных колебаний с периодом около 60 лет. В качестве регулятора выявленных внутрисистемных фазовых вариаций выступает мультидекадная осцилляция теплосодержания океана (МОСТОК) [4-5], которая локализована в промежуточном слое Мирового океана - в его главном термоклине. Поскольку главный термоклин - это слой, в котором сосредоточены все главные элементы циркуляции вод Мирового океана, то МОСТОК должна отражаться [4] (рис.1 (а, б)) в единообразии режима таких систем течений, как Гольфстрим и Курошио.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, тема № FMWE-2024-0017.

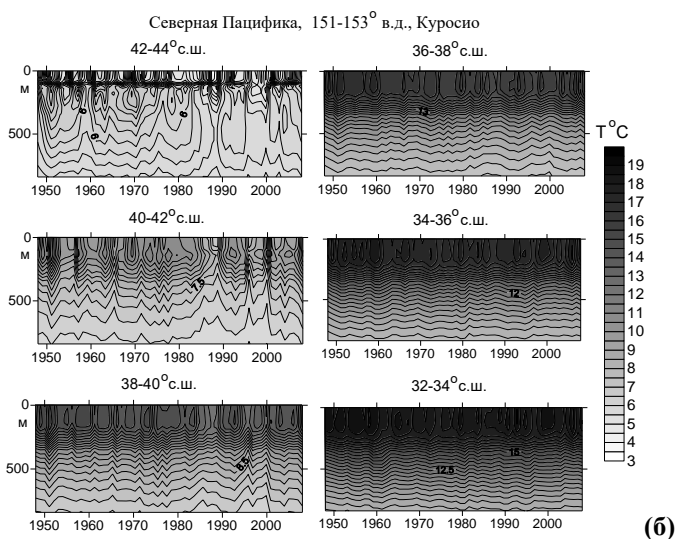
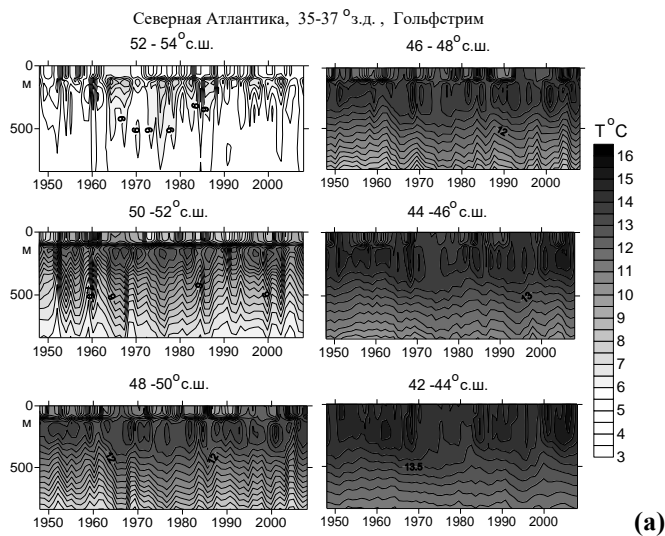


Рис. 1 - Эволюция термической структуры ВДС (0 - 800 м) в холодную часть года (ноябрь- март) по результатам моделирования [6]: (а) в Северной Атлантике в районе выполнения эксперимента «Атлантэкс-90»; (б) в Тихом океане в районе выполнения эксперимента «Мегаполигон-87»

ЛИТЕРАТУРА

1. Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А. О разнонаправленности изменений глобального климата на материках и океанах // ДАН. - 2005. - Т. 400. - № 1. - С. 98–104.
2. Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А. О существенных различиях крупномасштабных изменений приземной температуры над океанами и материками // Океанология. - 2006. - Т. 46. - № 2. - С. 165–177.
3. Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В. О фазовой изменчивости некоторых характеристик современного климата в регионе Северной Атлантики // ДАН. - 2011. - Т. 438. - № 6. - С. 817–822.
4. Byshev V.I., Neiman V.G., Anisimov M.V., Gusev A.V., Serykh I.V., Sidorova A.N., Figurkin A.L., Anisimov I.M. Multi-decadal oscillations of the ocean active upper-layer heat content // Pure and Applied Geophysics. - 2017. - Vol. 174. - No. 7. - P. 2863–2878. - <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1557-3>.
5. Byshev V.I., Gusev A.V., Neiman V.G., Sidorova A.N. Interdecadal Oscillation of the Ocean Heat Content as a Contribution to Understanding of Physical Aspects of the Present-Day Climate // Journal of Marine Science and Engineering. - 2022. - Vol. 10. - No 8. - Article No. 1064. - <https://doi.org/10.3390/jmse10081064>.
6. Гусев А.В., Дианский Н.А. Воспроизведение циркуляции Мирового океана и её климатической изменчивости в 1948-2007 гг. с помощью модели INMOM // Изв. РАН, Сер. Физика атмосферы и океана. - 2014. - Т. 50. - № 1. - С. 3–15.

УДК 551.46.083

«ВАИКАЛ-5D» - ПРИБОР ДЛЯ ДОЛГОВРЕМЕННОГО МОНИТОРИНГА ГИДРООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛУБИННЫХ ВОД ОЗ. БАЙКАЛ

Рябов Е.В. [✉]₁, КОЛЛАБОРАЦИЯ ВАИКАЛ-GVD

¹ *Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия.
Адрес: 664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,
Тел.: +7(3952)332170 e.v.ryabov@mail.ru*

«BAIKAL-5D» - A DEVICE FOR LONG-TERM
MONITORING OF HYDRO-OPTICAL
CHARACTERISTICS OF DEEP WATERS OF LAKE
BAIKAL

Ryabov E.V. ^{✉1}, BAIKAL-GVD COLLABORATION

¹ *Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation, 664003, Karl Marx St, 1*

В статье представлены результаты разработки прибора типа «BAIKAL-5D» для долговременного мониторинга гидрооптических характеристик глубинных вод оз. Байкал. Рассматриваются конструкция прибора, применяемые методы для измерения первичных гидрооптических характеристик (ПГХ), поправки для компенсации методической и приборной погрешностей, а также опыт эксплуатации приборов в течение 2021-2024 г.г.

The article presents the results of the development of a BAIKAL-5D type device for long-term monitoring of hydro-optical characteristics of the deep waters of Lake Baikal. The design of the device, the methods used to measure the primary hydro-optical characteristics, corrections to compensate for methodological and instrumental errors, as well as the experience of operating the devices during 2021-2024 are considered.

Ключевые слова: первичные гидрооптические характеристики, поглощение, рассеяние, долговременный мониторинг, озеро Байкал.
Key words: primary hydro-optical characteristics, absorption, scattering, long-term monitoring, lake Baikal.

Проект развертывания нейтринного телескопа BAIKAL-GVD предусматривает создание системы непрерывного мониторинга первичных гидрооптических характеристик (ПГХ) водной среды: показателя поглощения $a(\lambda)$ и показателя рассеянии $b(\lambda)$, также индикатрисы рассеяния $\chi(\lambda, \gamma)$, где λ -длина волны излучения, γ -угол рассеяния [1]. С 2020 года для измерения ПГХ in situ применяются разработанные в НИИПФ ИГУ приборы типа «BAIKAL-5D», которые обеспечивают долговременные измерения ПГХ глубинных вод Байкала в районе развертывания BAIKAL-GVD.

На рис.1 приведено устройство прибора «BAIKAL-5D». В основном корпусе прибора установлены малогабаритный монохроматор на основе дифракционной решетки (спектральный диапазон измерений 390-620нм), микропроцессорная электроника управления и блоки питания. Широкоугольный приемник света перемещается шаговым двигателем привода так, что расстояние R до квазиизотропного источника света изменяется в пределах 1.5-7.5м. Затеняющие экраны закрывают и открывают свет источника. С приводом системы затенения совмещен поворотный узконаправленный излучатель. Низкоскоростная связь с прибором организована по принципу запрос-ответ и осуществляется по жиле электропитания (напряжение - 300В) кабель-троса длиной 1.5км с использованием пары FSK модемов. Управление прибором осуществляется удаленно с берегового компьютера, программа которого реализует различные алгоритмы измерений. Монтаж прибора и его обслуживание производится во время зимней экспедиции со льда, затем прибор устанавливается на заданную глубину и подключается к системам питания и связи.

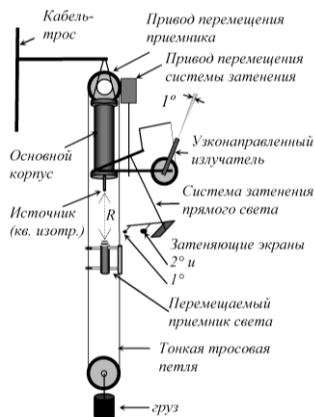


Рис. 1. Устройство прибора «BAIKAL-5D».

В приборе «BAIKAL-5D» в основу измерения поглощения положен простой метод с изотропным источником света (метод однократного рассеяния) [2]. В процессе измерений приемником регистрируется зависимость от R (рис.1) количества фотонов $N(R)$, попадающих на фотокатод в единицу времени. Измеряемое прибором значение показателя поглощения $a_{изм}$ и истинное a определяются [3]

как:

$$a_{изм} = - \frac{d(\ln(N(R)R^2))}{dR}, a = a_{изм} - \Delta a$$

Поправка Δa компенсирует методическую и приборную ошибки измерения, связанные в основном с неполной регистрацией рассеянного излучения. Для глубинных вод Байкала эта ошибка определяется примерно на 60% отсутствием возможности зарегистрировать обратное рассеяние, а поправка приближенно может

быть определена формулой $\Delta a \approx 1,4 \cdot b / (K + 1)$, где K – коэффициент асимметрии $\chi(\lambda, \gamma)$.

Для измерения рассеяния используется метод затенения экраном прямого света источника. Когда затеняющий экран находится на линии источник-приемник прямой свет закрыт и регистрируется сигнал N_{close} . При удалении экранов от линии приемник-источник регистрируется сигнал N_{open} . Измеряемый показатель рассеяния в переднюю полусферу $b_{изм}$ на угол, больший угла конуса тени (1°), создаваемой экраном определяется формулой из [4]:

$$b_{изм}(\lambda) = 1 / L_b(\lambda) = -\ln(1 - N_{close} / N_{open}) / R, \quad b(\lambda) = X(\lambda) \cdot b_{изм}(\lambda)$$

а поправка на ограниченную диаграмму излучения и затеняющий экран учитывается поправочным коэффициентом $X(\lambda)$, значение которого для экрана с полным углом тени 1° составляет 1.65 при $\lambda=470$ нм.

Метод измерения малоугловой (до 30°) зависимости индикатрисы рассеяния основан на регистрации приемником зависимости потока фотонов $N(\alpha)$ в процессе поворота узконаправленного излучателя на угол α в плоскости, проходящей через центр приемника. В приближении однократного рассеяния и значительно вытянутой в области малых углов α $\chi(\lambda, \alpha)$ выражение для расчета имеет вид:

$$\chi(\alpha) \approx -f \cdot \frac{d[N(\alpha) \cdot \sin(\alpha)]}{d\alpha}$$

Оценочное измерение интегральных параметров индикатрисы (коэффициента асимметрии K , среднего косинуса и т.д.) производится при замене узконаправленного излучателя на излучатель с излучением в конусе с полным углом 70° .

Суммарно методическую и приборную погрешности измерения ПГХ прибором «ВАИКАЛ–5D» в спектральном диапазоне 405-600нм мы оцениваем: $\varepsilon_a \leq 4\%$, $\varepsilon_b \leq 10\%$, $\varepsilon_\chi \leq 30\%$, $\varepsilon_K \leq 25\%$. Минимальная глубина измерений определяется проникновением вглубь озера света от астрономических источников и днем составляет не менее 600м, а безлунные ночи – не менее 100м. Скорость течения не более 2 см/сек.

Диапазон измеряемых значений длины поглощения приборами «ВАИКАЛ–5D» составляет от 3 м до 30 м, а длины рассеяния – от 10 м до 100 м. Возможны измерение для одной длины волны (алгоритм A1 для поглощения и S1 для рассеяния, длительность измерения 10 минут) и измерение непрерывного спектра в диапазоне 390-620нм (алгоритм A2 и S2, длительность 1 час) [5].

Опыт непрерывной эксплуатации трех приборов типа «ВАИКАЛ–5D» в течение 2020–2024 подтвердил высокую надежность их систем

и стабильную повторяемость результатов измерения ПГХ. Интервал обслуживания без заметного ухудшения характеристик составляет не менее 1 года при измерениях 1 раз в неделю. Используемые методы измерения поглощения и рассеяния являются абсолютными, а возникающие систематические погрешности измерения ПГХ в глубинных водах оз. Байкал могут быть принципиально минимизированы поправками, рассчитанными на основе измеряемых прибором «BAIKAL-5D» величин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оптика океана и атмосферы / Под ред. К.С. Шифрин. М.: Наука, 1981. 230 с.
2. Bauer D., Brun-Cottan J.C., Saliot A. Principe d'une mesure direct dans l'eau de mer du coefficient d'absorption de la lumier // Cah. Oceanogr. 1971. V. 23, N 9. P. 841–858.
3. A. Avrorin, et al. Asp-15—A stationary device for the measurement of the optical water properties at the NT200 neutrino telescope site // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2012. Т. 693. С. 186–194. DOI: 10.1016/j.nima.2012.06.035.
4. Тарашанский Б. А., Коханенко Г. П., Миргазов Р. Р., Рябов Е. В., Ягунов А. С. Методы и результаты мониторинга оптических характеристик водной среды байкальского нейтринного телескопа, осуществляемого стационарным глубоководным прибором ASP-15. // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23. № 09. С. 793–802.
5. E. Ryabov et al. Monitoring of optical properties of deep lake water // Journal of Instrumentation, 2021. – V.16, – C09001 <https://doi.org/10.1088/1748-0221/16/09/C09001>

Авторы с адресами организаций

А.В. Аврорин¹, А.Д. Аврорин¹, В.М. Айнутдинов¹, В.А. Аллахвердян², З. Бардачова^{3,10}, И.А. Белолопतिकов², Е.А. Бондарев¹, И.В. Борина², Н.М. Буднев⁴, А.Р. Гафаров⁴, К.В. Голубков¹, Н.С. Горшков², Т.И. Гресь⁴, Р. Дворницки³, Ж.–А.М. Джилкибаев¹, В.Я. Дик^{2,5}, Г.В. Домогацкий¹, А.А. Дорошенко¹, А.Н. Дячок⁴, Т.В. Елжов², Д.Н. Заборов¹, С.И. Завьялов², Д.Ю. Звездов², В.К. Кебкал⁶, К.Г. Кебкал⁶, М.И. Клейменов¹, В.А. Кожин⁷, М.М. Колбин², С.О. Колигаев¹¹, К.В. Конишев², А.В. Коробченко², А.П. Кошечкин¹, М.В. Круглов², В.Ф. Кулепов⁸, А.А. Куликов⁴, Ю.Е. Лемешев⁴, Р.Р. Миргазов⁴, Д.В. Наумов², А.С. Николаев⁷, Д.П. Петухов¹, И.А. Перевалова⁴, Е.Н.

Плисковский², М.И. Розанов⁹, Е.В. Рябов⁴, Г.Б. Сафронов¹, А.Э. Сиренко², А.В. Скурихин⁷, А.Г. Соловьев², М.Н. Сороковиков², А.П. Стромаков¹, О.В. Суворова¹, В.А. Таболенко⁴, В.И. Третьяк², В.Н. Фомин¹², И. В. Харук¹, Е.В. Храмов², В.А. Чадымов¹², А.С. Чепурнов⁷, Б.А. Шайбонов², Ф. Шимковиц^{3,10}, Е.В. Широков⁷, В.Ю. Шишкин⁷, И. Штекл¹⁰, Э. Эцкерова^{3,10}, Ю.В. Яблокова²

1. **Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия.** Адрес: 117312, г. Москва, В-312, проспект 60-летия Октября, 7а. Тел. 8(499)135-77-60
2. **Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия.** Адрес: 141980, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри 6, ОИЯИ, Лаборатория ядерных проблем. Тел.: +79104916500.
3. **Somenius University, Братислава, Словакия.** Адрес: Univerzita Komenského v Bratislave, Šafárikovo námestie 6, P.O.BOX 440, 814 99 Bratislava 1. Тел. +421908150238
4. **Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия.** Адрес: 664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1, Тел: +7(3952)521900 (приемная ректора), +7(3952)332170
5. **Институт ядерной физики МЭ, Алматы, Казахстан.** Адрес: Республика Казахстан, г. Алматы, 050032, ул. Ибрагимова, 1. Тел.: [8 727 386 68 00](tel:87273866800)
6. **АО «Лаборатория гидроакустической телеметрии и навигации» (ЛАТЕНА).** Адрес: 199106, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ № 7, линия 22-я В. О., д. 3, к. 1, литера М, помещ. 1-Н, ком. 152 (ОФ. 345). Тел.: +79118441737
7. **Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, МГУ, Москва, Россия.** Адрес: 119234, ГСП-1, г. Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2. Тел.: +7(495)939-18-18
8. **Нижегородский государственный технический университет, Нижний Новгород, Россия.** Адрес: 603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24. Тел.: [+7\(831\)436-63-07](tel:+78314366307)
9. **Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург, Россия.** Адрес: [190121, г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3](http://190121.g.sankt-peterburg.ul.lozmannskaya.3). Тел.: +7(812)-495-26-48
10. **Czech Technical University in Prague, Прага, Чешская Республика.** Адрес: [Jugoslávských partyzánů 1580/3](http://Jugoslávskýchpartyzánů1580/3), 160 00 Prague 6 – Dejvice, Czech Republic. Тел.: +420224351111.
11. **ООО «Лаборатория прикладных информационных технологий «Инфрад»», Дубна, Россия.** Адрес: 141981, Московская область, г. о. Дубна, г. Дубна, ул. Энтузиастов, д. 3Б. Тел.: +79261304771
12. **Москва, исследователь**

Автор для переписки

Евгений Валерьевич Рябов

(e_v_rubov@mail.ru), Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия. Тел 89526204590.

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПОВЕДЕНИЯ
КВАЗИГЕОСТРОФИЧЕСКОГО ВИХРЯ НА
ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ПОТОКЕ С ВЕРТИКАЛЬНЫМ СДВИГОМ**

Арутюнян Д.А.¹, Жмур В.В.^{1,2}

¹*Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Институтский переулок, д.9., Московская область, г. Долгопрудный, 141701, 8 (495) 408-45-54, arutyunyan.da@phystech.edu*

²*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва, Нахимовский пр., 36, 8(499)124-13-01, zhmur-vladimir@mail.ru*

**THE STUDY OF THE BEHAVIOUR MODES OF A QUASI-
GEOSTROPHIC VORTEX ON A HORIZONTAL FLOW
WITH VERTICAL SHEAR**

Harutyunyan D.A.¹, Zhmur V.V.^{1,2}

¹*Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University), 9, Institutsky pereulok, Moscow Region, Dolgoprudny, 141701, Russia*

²*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36, Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia.*

В работе изложена задача о режимах поведения квазигеострофических вихрей эллипсоидальной формы ядра в горизонтальных течениях с вертикальным сдвигом. Получены три режима поведения: режим выживания, режим конечного времени жизни и режим неограниченного вытягивания ядра вихря.

The paper presents the problem of the behaviour regimes of quasigeostrophic vortices with an ellipsoidal core shape in horizontal flows with vertical shear. Three behaviour modes are obtained: survival mode, finite lifetime mode, and unlimited extension of the vortex core.

Ключевые слова: ядро вихря, течение с вертикальным сдвигом, режим конечного времени жизни вихря

Key words: vortex core, vertical shear flow, vortex finit-lifetime mode

В работе рассматривается поведение геострофического эллипсоидального вихря в потоке с вертикальным сдвигом. В таких течениях ядро вихря зажато между двумя неподвижными горизонтальными плоскостями, которых вихрь касается своими верхней и нижней точками. Геометрические характеристики вихря, такие как длины полуосей ядра(эллипсоида) и углы ориентации эволюционируют. Для исследования эволюции вихря рассматриваются его два безразмерные геометрические параметры [1]. Первый параметр - отношение условных горизонтальных полуосей ядра вихря $\varepsilon = \frac{a}{b}$. Другой безразмерный параметр $K = \frac{\tilde{c}}{\sqrt{ab}}$ представляет из себя величину относительной сплюснутости вихря в направлении квазивертикальной полуоси и описывает его относительную толщину. Для описания ориентации вихря в пространстве используются углы Эйлера φ, θ, ψ [3]. В качестве внешнего параметра рассматривается относительный сдвиг скорости $\tau = \Gamma/\sigma$, где Γ – сдвиг внешнего течения, σ – потенциальная завихренность ядра вихря.

В работе было получено три варианта поведения вихрей. Первый режим описывает выживание вихрей в сдвиговом потоке. В этом случае вихрь может бесконечно долго сохранять конечные колебания длин полуосей, демонстрируя сложное поведение в ориентации углов. Такое поведение свойственно сильным вихрям. Второй режим связан с вытягиванием вихря вдоль течения с самого начала эволюции. При этом его горизонтальные размеры поперек течения остаются ограниченными, а форма сплющивается по вертикали. Этот режим приводит к разрушению вихря, результатом чего становится образование тонкой вертикальной структуры в океане. Такую эволюцию проходят слабые вихри, и данный режим получил название "режим неограниченного вытягивания". Третий вариант поведения вихрей назван как "режим конечного времени жизни". В рамках этого режима вихрь на ограниченном временном интервале ведет себя как в режиме выживания: его форма подвергается умеренной деформации, а сам он вращается или колеблется в пространстве. Однако затем он переходит в фазу неограниченного вытягивания, аналогичную режиму уничтожения. В работе определены области существования каждого из этих режимов на плоскости безразмерных параметров задачи, а также установили границы, разделяющие указанные режимы. На рис. 1 представлены

режимы поведения ядра вихря на плоскости начального параметра сплюснутости и параметра сдвига ($K(0), \tau$) для начальных условий $\varepsilon(0) = 1$ и $\theta(0) = 0$. Область красного цвета представляет зону выживания вихря в фоновом потоке, синий цвет - зона конечного времени жизни, а белый цвет является зоной неограниченного вытягивания вихря фоновым течением. Зона неограниченного вытягивания уходит бесконечность по оси τ .

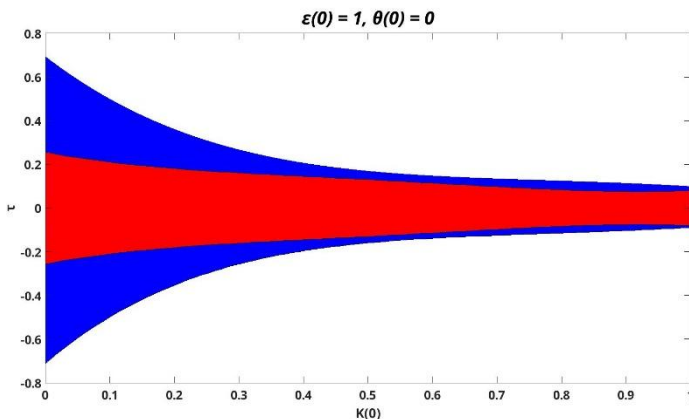


Рис. 1. Фазовые плоскости ($K(0), \tau$) режимов поведения ядра вихря для начальных значений $\varepsilon(0) = 1$ и $\theta(0) = 0$. Красная зона – зона выживания, синяя – зона конечного времени жизни, белая – зона неограниченного вытягивания.

Основные выводы исследования состоят в следующем: в зависимости от начальных и внешних факторов существуют три сценария развития вихревого ядра:

1. Режим выживания: вихрь способен существовать неопределенно долгое время, сохраняя размеры своего ядра. Этот сценарий характерен для наиболее мощных вихрей.
2. Режим ограниченного времени жизни: на начальном этапе вихрь ведет себя подобно тому, что наблюдается в режиме выживания, однако через определенное время (период жизни) происходит его неограниченное вытягивание, то есть разрушение под воздействием течения. Это характерно для менее сильных вихрей.
3. Режим непрерывного вытягивания (режим уничтожения): с самого начала своей эволюции вихрь уничтожается течением путем

растягивания вихревого ядра. Такой сценарий присущ самым слабым вихрям.

Поведение этих режимов не зависит от интегральных параметров вихревого ядра. На стадии неограниченного растягивания ядро вихря стремится занять горизонтальное положение. Горизонтальные размеры ядра вдоль течения увеличиваются безгранично, тогда как поперечная составляющая остается конечной, а толщина структуры схлопывается до нуля. Таким образом, эта структура утрачивает свои вихревые характеристики и преобразуется в тонкую вертикальную структуру океана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жмур В.В. Мезомасштабные вихри в океане. М.: ГЕОС, 2011. 290 с.
2. Meacham S.P., Pankratov K.K., Shchepetkin A.F., Zhmur V.V. The interaction of ellipsoidal vortices with background shear flows in a stratified fluid // *Dynamics of Atmospheres and Oceans*. 1994. V. 21. № 2–3. P. 167–212. doi: 10.1016/0377-0265(94)90008-6.

УДК 551.465

ЭВОЛЮЦИЯ ЭНЕРГИИ КВАЗИГЕОСТРОФИЧЕСКОГО ЭЛЛИПСОИДАЛЬНОГО ВИХРЯ ПРИ ЕГО ВЫТЯГИВАНИИ ВНЕШНИМИ ТЕЧЕНИЯМИ

Арутюнян Д.А.¹, Жмур В.В.^{1,2}

¹*Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Институтский переулок, д.9., Московская область, г. Долгопрудный, 141701, 8 (495) 408-45-54, arutyunyan.da@phystech.edu*

²*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва, Нахимовский пр., 36, 8(499)124-13-01, zhmur-vladimir@mail.ru*

**THE STUDY OF THE BEHAVIOUR MODES OF A QUASI-
GEOSTROPHIC VORTEX ON A HORIZONTAL FLOW WITH
VERTICAL SHEAR**

HARUTYUNYAN D.A.¹, ZHMUR V.V.^{1,2}

¹*Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University), 9, Institutsky pereulok, Moscow Region, Dolgoprudny, 141701, Russia*

²*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36, Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia.*

В работе исследуется эволюция энергии эллипсоидального вихря во внешнем потоке. Установлено, что по мере вытягивания вихревое ядро теряет как кинетическую, так и доступную потенциальную энергии. В системе «течение-вихрь» возникает так называемый обратный энергетический каскад: при формировании вихрь изначально получает энергию от течения, а далее, с вытягиванием ядра часть теряемой энергии обратно передается течению.

The paper studies the evolution of the energy of an ellipsoidal vortex in an external flow. It is established that as the vortex core is stretched, it loses both kinetic and available potential energy. In the "flow-vortex" system, a so-called reverse energy cascade occurs: during formation, the vortex initially receives energy from the current, and then, with the stretching of the core, part of the lost energy is transferred back to the current.

Ключевые слова: ядро вихря, доступная потенциальная энергия, обратный энергетический каскад

Key words: vortex core, available potential energy, reverse energy cascade

Вихри океана играют важную роль в его динамической жизни. Исследование динамики поведения вихревых образований является актуальным в том числе и с энергетической точки зрения. В данной работе рассматривается зависимость полной механической энергии вихря от его геометрических параметров: отношения горизонтальных полуосей ядра вихря $\varepsilon = \frac{a}{b}$ и параметра сплюснутости $K = \frac{\varepsilon}{\sqrt{ab}}$ [1]. За счет сохранения потенциальной завихренности частиц ядра становится возможным определить эволюцию всех гидродинамических характеристик вихря по мере изменения этих двух параметров. При определенных параметрах горизонтального сдвига внешнего течения вихрь входит в так называемый режим вытягивания: сохраняя толщину по вертикали, одна горизонтальная

полуось стремится к нулю, а вторая – к бесконечности, в результате чего параметр ε неограниченно возрастает. В данной работе была получена зависимость полной механической энергии вихря от параметров ε и K . В баротропном потоке параметр K остается постоянным, меняется только параметр вытянутости ε [1],[2]. Производная энергии вихря по параметру ε оказалась отрицательной на всей числовой прямой, что означает уменьшение полной механической энергии вихря по мере вытягивании ядра. Отдельно было получено выражение для полной механической энергии ядра, а также его составляющих кинетической и доступной потенциальной энергий. Кинетическая и доступная потенциальная энергии также убывают при вытягивании ядра. Интересным результатом является то, что доля кинетической энергии в полной механической энергии убывает, в то время как доля доступной потенциальной энергии возрастает. Также выявлено, что доля полной механической энергии ядра в энергии вихря не превышает 17.5 %. При вытягивании ядра вихря внешнее течение совершает работу над вихрем, однако энергия вихря уменьшается: убыток энергии возвращается обратно в течение. Наблюдается обратный энергетический каскад или так называемый эффект отрицательной вязкости. На рис. 1. представлена схема энергопотоков в системе «течение-вихрь».



Рис. 1 Схема потоков энергии в системе «течение-вихрь».

Авторами также определены эволюция числа Россби по мере вытягивания вихря, скорость и ускорение частиц жидкости на периферии ядра.

Основные выводы заключаются в следующем: при вытягивании внешним течением полная механическая энергия вихря убывает. Также убывают как полная механическая, так и кинетическая и доступная потенциальная энергии ядра вихря. Доля кинетической энергии ядра также убывает, в отличие от доступной потенциальной, которая растет по мере удлинения ядра. Основная часть энергии сосредоточена вне ядра вихря – не менее 82.5 %. Когда вихрь растягивается, число Россби возрастает: удлиняющийся вихрь будет оставаться квазигеострофическим в пределах определенного диапазона параметра $1 \leq \varepsilon < \bar{\varepsilon}$, за пределами которого он превращается в агеострофическую структуру. Центробежная сила остается конечной даже на крайней точке периферии ядра, где радиус кривизны приближается к нулю, благодаря чему частицы остаются внутри области захвата. Максимальная скорость наблюдается на периферии горизонтального сечения ядра, но с вытягиванием вихря она постепенно снижается до нуля. Вихрь первоначально получая энергию от течения, на стадии вытягивания отдает обратно в течение часть своей энергии. Такой процесс характеризуется обратным энергетическим каскадом или так называемым явлением с отрицательной вязкостью. Явление отрицательной вязкости проявляется в зонах, где характерны деформирующие свойства течений. В таких условиях следует ожидать усиление течения.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Жмур В.В. Мезомасштабные вихри в океане. М.: ГЕОС, 2011. 290 с.
2. Жмур В.В., Арутюнян Д.А. Перераспределение энергии при горизонтальном вытягивании океанских вихрей баротропными течениями.; Океанология, 2023, том 63, №1, с. 3-19.

АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРХНЕГО СЛОЯ МОРЯ, НАСЫЩЕННОГО ПУЗЫРЬКАМИ

Буланов В.А.

*Тихоокеанский океанологический институт
им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
Балтийская ул., 43, 690041, г. Владивосток, 8(423)237-49-
13, ¹ bulanov@poi.dvo.ru*

ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF THE UPPER SEA LAYER, RICH BUBBLES

Bulanov V.A.¹

¹ *V.I.Ilichev Pacific Oceanological Institute Far Eastern
Branch of Russian Academy of Sciences,
Baltiskaya St., 43, 690041, Vladivostok, 8(423)237-49-
bulanov@poi.dvo.ru*

Исследованы распределения пузырьков в морской воде при одновременных измерениях рассеяния и поглощения звука и акустической нелинейности морской воды. Показано, что акустические характеристики морской воды с пузырьковыми облаками проявляют аномальные характеристики.

Bubble distributions in seawater have been studied with simultaneous measurements of sound scattering and absorption and acoustic nonlinearity of seawater. It is shown that the acoustic characteristics of seawater with bubble clouds exhibit anomalous characteristics.

Ключевые слова: акустическое рассеяние, поглощение, нелинейность
Key words: acoustic scattering, attenuation, nonlinearity

В морской воде всегда присутствуют пузырьки и особенно велика их роль при больших скоростях ветра и при сильном ветровом волнении [1-6]. В рамках гомогенной модели эффективных параметров микронеоднородной жидкости [6] описаны акустические характеристики морской воды с пузырьками. Данные по рассеянию звука на различных частотах в приповерхностном слое моря при

вовлечении пузырьков в толщу морской воды позволили выявить структуру распределения по размерам пузырьков и их динамику [2,5,6]. Полученные данные по распределению пузырьков в море позволили определить другие акустические характеристики приповерхностных слоев морской воды.

Исследования рассеяния звука проводились с помощью акустической системы излучения-приема, включающей донную станцию и аппаратуру регистрации и анализа сигналов, располагающихся на морской экспериментальной станции МЭС Шульц ТОИ ДВО РАН в б. Витязь Японского моря. Донная станция была оснащена различными излучателями с частотами от 50 кГц до 519 кГц.

Измерения распределения коэффициента рассеяния звука $m_v(z, t)$ в зависимости от глубины z и времени t позволили определить функцию распределения пузырьков по размерам $g(R)$, которая может быть найдена по частотной зависимости $m_v(\omega)$ в предположении, что основной вклад в рассеяние звука вносят резонансные пузырьки, радиус которых связан с частотой по формуле Миннерта [1, 2, 6]:

$$g(R(\omega)) = 2m_v(\omega) / [\pi Q_\omega R^3(\omega)], \quad R(\omega) = \sqrt{3\gamma P_0 / \rho} / \omega \quad (1)$$

где Q_ω – добротность резонансных пузырьков на частоте ω , P_0 – гидростатическое давление, ρ и γ – плотность жидкости и постоянная адиабаты газа.

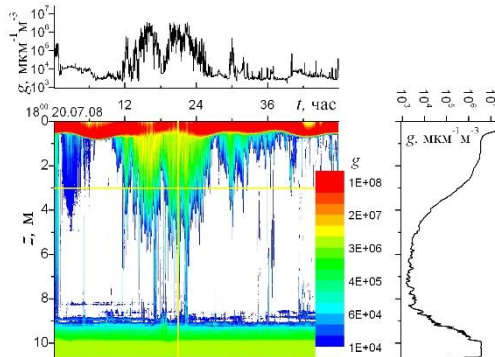


Рис. 1. Распределение пузырьков, резонансных на частоте 138 кГц, в различные временные периоды развития шторма.

Полученные данные позволили получить функции $g(R)$, представленные на рис. 1. Из рис. 1 видно, что с усилением ветра происходит существенное вовлечение пузырьков в толщу моря.

Можно аппроксимировать распределение пузырьков функцией $g(R)$ вида [6] $g(R) = A_g R^{-n} \exp\{-n[(R_p / R) + (R / R_m)]\} \exp(-z / z_b)$, где показатель степени n и критические размеры R_p (максимум $g(R)$), R_m (спад $g(R)$ при больших R) являются параметрами, которые следуют из теории Гаррета-Ли-Фармера в инерционном интервале между размерами R_p, R_m [3], z_b - характерная толщина пузырькового слоя.

Формулу для $g(R)$ удобно использовать, чтобы в рамках гомогенной модели микроненоднородной среды [5,6] оценить акустические параметры приповерхностных слоев морской воды с пузырьками. На рис. 2 представлено изменение во времени коэффициента поглощения звука на частоте 145 кГц при наличии пузырьков.

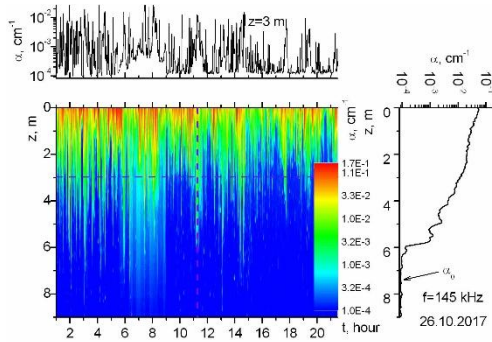


Рис.2. Коэффициент поглощения звука $\alpha(t, z)$ для частоты 145 кГц при наличии пузырьковых облаков

Важным параметром в нелинейной гидроакустике является нелинейный акустический параметр, эффективная величина которого для жидкости с пузырьками ε_e определяется в виде [6]

$$\frac{\varepsilon_e}{\varepsilon} \approx \left(1 + \frac{2\pi}{3} \frac{\beta'^2 (\gamma + 1)}{\beta^2 \varepsilon} \int_0^\infty dR R^3 g(R) \right) \left[1 + \frac{\beta'}{\beta} \int_0^\infty \frac{R^3 g(R) dR}{q(R)} \right]^{-2},$$

где $q(R) = 1 - (R / R_\omega)^2 (1 + i\delta_\omega)$, ε - нелинейного акустического параметра жидкости без пузырьков, β и β' - коэффициенты изотермической сжимаемости жидкости и газа внутри пузырька, соответственно. Полученные результаты по концентрации пузырьков в морской воде позволяют определить дополнительную акустическую нелинейность, привносимую пузырьками. На практике часто используется относительный метод измерения ε , заключающийся в

предварительной калибровке зонда – измерителя нелинейности [6] в известной среде, зондирования в море и затем вычисления ε по формуле $\varepsilon = \varepsilon_0 U_\Omega / U_{\Omega_0}$, где ε_0 , U_{Ω_0} и U_Ω – параметры, соответствующие эталонному образцу.

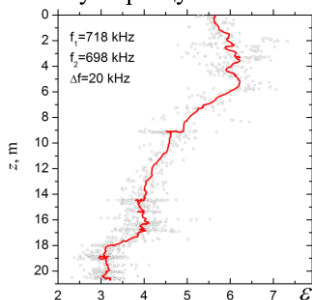


Рис. 4. Нелинейный параметр $\varepsilon(z)$ в б. Витязь Японского моря

На рис. 4 показана типичная зависимость параметра нелинейности от глубины в б. Витязь Японского моря, полученная в сравнительно спокойных условиях моря. Видна сильная изменчивость нелинейности морской воды по глубине, которая связана с существованием воздушных пузырьков в толще моря, вовлеченных при усилении ветра. На больших глубинах $\varepsilon(t, z)$ стремится к значению в чистой воде ~ 3.5 .

Работа выполнена в рамках госзадания FWMM-2024-0015, рег. № 124022100075-6

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Medwin H. Acoustical Determination of Bubble Size Spectra // J. Acoust. Soc. Am. 1977. V.62. P.1041-1044.
2. Акуличев В.А., Буланов В.А., Кленин С.А. Акустическое зондирование газовых пузырьков в морской среде // Акуст.ж. 1986,Т.32, Вып.3. С.289-295.
3. Garrett C., Li M., Farmer D. The Connection between Bubble Size Spectra and Energy Dissipation Rates in the Upper Ocean // J. Phys. Ocean. 2000 Vol.30 No9 p.2163-2171.
4. Liu, R.; Li, Z. The Effects of Bubble Scattering on Sound Propagation in ShallowWater. // J. Mar. Sci. Eng. 2021, V.9, P.1441.
5. Akulichhev V.A., Bulanov V.A. Measurements of bubbles in sea water by nonstationary sound scattering // J. Acoust. Soc. Am. 2011. Vol.130, No5, pp.3438-3449.
6. Акуличев В.А., Буланов В.А. Акустические исследования мелкомасштабных неоднородностей в морской среде. – Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2017. 414 с.

УДК 551.46.08+551.465

**РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО
РАСЧЕТУ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ С
ИНТЕГРАЦИЕЙ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ПО НАТУРНЫМ
ИЗМЕРЕНИЯМ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЕРТИКАЛЬНОГО
ТУРБУЛЕНТНОГО ОБМЕНА**

Казаков Д. А., Маркова Н. В., Чухарев А. М., Дымова О. А.

*Морской гидрофизический институт РАН,
ул. Капитанская, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация
Тел./факс: +7 8692 54 52 41, E-mail: office-mhi@mail.ru*

**ANALYSIS RESULTS OF NUMERICAL EXPERIMENTS ON
CALCULATION OF THE BLACK SEA HYDROPHYSICAL FIELDS
WITH INTEGRATION OF VERTICAL TURBULENT EXCHANGE
COEFFICIENTS OBTAINED FROM IN SITU MEASUREMENTS**

Kazakov D.A., Markova N.V., Chukharev A.M., Dymova O.A.

*Marine Hydrophysical Institute of RAS
2 Kapitanskaya Str., Sevastopol, 299011 Russian Federation*

Проведены валидация и сравнительный анализ результатов моделирования гидрофизических полей солёности, температуры и скорости течений, рассчитанных на основе модели МГИ с экспериментально определенными коэффициентами вертикального турбулентного перемешивания, с аналогичными расчетами моделей с другими видами параметризации турбулентности.

Validation and comparative analysis is performed on the results of hydrophysical fields modeling of salinity, temperature and current velocity, calculated from the MHI model with experimentally determined coefficients of vertical turbulent mixing, with similar calculations of models with other types of turbulence parameterization were carried out.

Ключевые слова: Черное море, турбулентность, перемешивание, обмен, моделирование, валидация, гидрофизические поля

Key words: The Black Sea, turbulence, mixing, exchange, modeling, validation, hydrophysical fields

Целью работы являлось применение в численном моделировании уточненного массива коэффициентов вертикального турбулентного перемешивания, рассчитанных по микроструктурным данным 87-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» в северо-восточной части Черного моря вблизи крымского побережья. Сбор данных осуществлялся с помощью зондирующего комплекса «Сигма-1,5» [1]. Скорость диссипации турбулентной энергии определялась по измеряемым зондом двум компонентам пульсаций скорости течения по соотношению

$$\varepsilon = \frac{15}{2} \nu \left[\overline{(du' / dz)^2} \right]$$

где ν – кинематическая вязкость, u' – горизонтальные пульсации скорости. Расчет дисперсии $\left[\overline{(du' / dz)^2} \right]$ производился путем

интегрирования значений спектра вертикального градиента горизонтальных пульсаций скорости в выделенном диапазоне волновых чисел по методу Велча [2], который позволяет дать оценку ε с вертикальным разрешением 2 м. Для вычисления коэффициента вертикального турбулентного перемешивания K была использована формула Осборна [3]:

$$K \cong \frac{R_f}{1 - R_f} \frac{\varepsilon}{N^2},$$

где R_f – динамическое число Ричардсона, N – частота плавучести.

Построение и анализ трехмерных полей температуры, солёности и скорости течения был выполнен с помощью численной нелинейной z -координатной модели МГИ с горизонтальным разрешением 500 м для 25-суточного интервала времени, включающего съёмку данных в 87-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий». Батиметрия и атмосферный форсинг задавались согласно данным EMODnet и ERA5 соответственно. Условия на жидких границах были взяты из расчета бассейновой версии модели с разрешением 1600 м. В узлах, где коэффициенты не могли быть рассчитаны в связи с ограниченным диапазоном работы измерительного комплекса (глубже 300 м), применялись среднегодовые значения.

Результаты расчетов итоговой реализации модели совместно с результатами моделирования с применяемой ранее параметризацией турбулентности Пакановски-Филандера [4] были сопоставлены с гидрологическими данными, полученными в том же рейсе независимыми зондирующими комплексами *CTD SBE 911plus* (температура и солёность) и *LADCP WHM300* (составляющие скорости), работы которыми проводились одновременно с микроструктурными измерениями. Характеристикой качества работы модели выступало среднеквадратическое отклонение от наблюдаемых значений гидрофизических характеристик.

Расчеты дали сопоставимую погрешность относительно значений солёности и температуры. Итоговая аппроксимация показала более точные результаты в слое 30-100 м и небольшую прибавку в точности для слоя 100-300 м в сравнении с современными методами. При анализе результатов экспериментов были определены области с наибольшим расхождением модельных и измеренных значений гидрофизических характеристик. При сопоставлении с результатами анализа циркуляции вод в северной части Черного моря [5], было показано, что в пределах станций с наибольшим расхождением в значениях солёности и температуры в период съёмки преобладали локальные приповерхностные течения высокой интенсивности (от 45 до 60 см/с) преимущественно западного направления. Между тем, в целом воспроизведение динамики по сравнению с предыдущим вариантом расчета улучшилось: в верхнем 100-метровом слое в среднем на 15–20%, а для глубины залегания верхней границы слоя скачка температуры в центральной части моря на 10%.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Самодуров А.С.** Измерительный комплекс "Сигма-1" для исследования мелкомасштабных характеристик гидрофизических полей в верхнем слое моря / А. С. Самодуров, В. З. Дыкман, В. А. Барабаш [и др.] // Морской гидрофизический журнал. – 2005. – № 5. – С. 60-71. – EDN VSBWXN.
2. **Welch P.D.** The use of Fast Fourier Transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms // IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics. 1967. V. 15, № 2. P. 70–73. DOI: 10.1109/TAU.1967.1161901
3. **Osborn T.R.** Estimations of local rate of vertical diffusion from dissipation measurements // J. Phys. Oceanogr. 1980. V. 10. P. 83–89. DOI: 10.1175/1520-0485(1980)010<0083:EOTLRO>2.0.CO;2
4. **Pacanowski R.C., Philander S.G.H.** Parameterization of vertical mixing in numerical models of tropical oceans // J. Phys. Oceanogr. 1981. V. 11. Iss. 11. P. 1443–1451. DOI: 10.1175/1520-0485(1981)011<1443:POVMIN>2.0.CO;2
5. **Артамонов Ю.В.** Циркуляция вод северной части Черного моря в летний сезон 2016 года (по материалам 87-го рейса НИС "Профессор Водяницкий") / Ю. В. Артамонов, Е. А. Скрипалева, А. В. Федирко [и др.] // Морской гидрофизический журнал. – 2018. – Т. 34, № 1(199). – С. 57-70. – DOI 10.22449/0233-7584-2018-1-57-70. – EDN YWNTRV.

УДК 551.465

ОБ ОЦЕНКЕ ОБЪЕМОВ ПЕРЕНОСА ВОД ПО РАЗРЕЗАМ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В НАЧАЛЕ ЗИМНЕГО ПЕРИОДА 2023-2024 ГОДА

Ковалев Г.А., Амбросимов А.К.

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

**THE TRANSPORT ESTIMATES OF ATLANTIC WATERS THROUGH
OCEANOGRAPHIC SECTIONS OF THE BARENTS SEA AT THE
BEGINNING OF THE WINTER PERIOD OF 2023-2024.**

Kovalev G.A., Ambrosimov A.K.

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

Выполнена оценка переноса водных масс через меридиональный разрез по 39о в. д. в начале зимнего периода 2023-2024г. в условиях зимней полярной ночи. Оценены объемы и направления переноса вод. Выявлено слияние двух ветвей Западно-Новоземельского течения вблизи северной оконечности архипелага Новая Земля. Показано соответствие стрежней ветвей течения локальным максимумам температуры. Приведено описания механизма измерения объема водного переноса на основании данных судового SADCP.

A study researched the transport of water masses by the global oceanic conveyor belt across sections in the Barents Sea during the polar night of winter. The volumes and directions of water transport were assessed. The merging of two branches of the West Novaya Zemlya Current near the northern tip of the Novaya Zemlya archipelago was identified. The mechanism for measuring water transport volume based on shipboard ADCP data is descrypted.

Ключевые слова: Баренцево море, меридиональный разрез, течения, температура.

Key words: Barents Sea, meridian section, currents, temperature.

Введение

Исследование выполнено по результатам экспедиции «Европейская Арктика–2023: геологическая летопись изменений среды и климата» – 93-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш». Работа направлена на продолжение исследований колебаний климата и региональных особенностей глобального океанического конвейера в Европейской Арктике в рамках программы исследований области контакта холодной полярной и теплой атлантической воды [1].

Исследования выполнялись в период полярной ночи с 8 ноября по 7 декабря 2023 года в Баренцевом, Печорском морях и Байдарацкой губе Карского моря (рис. 1). Изменения в этом регионе определяют климат и условия окружающей среды во всем арктическом регионе в плейстоцене, особенно в последние 16–17 тыс. лет, на переходе от последнего оледенения плейстоцена к современному межледниковому голоцену. Сокращение ледяного покрова и таяние ледников на островах Арктики в XXI веке можно рассматривать в качестве современного аналога неоднократно проявляющихся периодов потепления в голоцене [2]. Таким образом, первостепенная цель судовых экспедиционных исследований – это связать изменение

океанологических условий с позиций системного подхода с климатическими изменениями на Западно-Арктическом шельфе Евразии. Атлантификация арктического региона, это усиление процесса переноса тепла из Атлантического океана в арктические регионы и связанные с этим климатические изменения. Поэтому целью работы является оценка переноса объема атлантических вод для оценки переноса тепла в арктический регион.

Детально было проведено изучение гидрологической структуры и структуры Западно-Новоземельского течения на границе Баренцева и Карского морей в условиях полярной ночи; оценен перенос теплой североатлантической воды в Карское море. Выполнена подробная гидрологическая съемка в центральной части Баренцева моря на меридиональном разрезе вдоль 39° в.д. – по аналогии с работами на вековом стандартном разрезе № 6 «Кольский меридиан» [3].

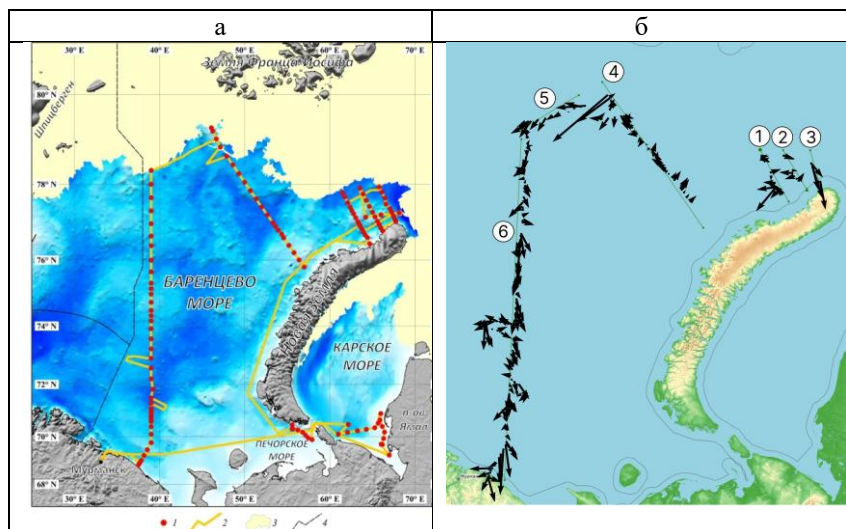


Рис. 1. а) Карта маршрута судна (протяженность ~4 000 морских миль) и станций (всего 124) в российской части Западно-Арктического шельфа Евразии, ноябрь–декабрь 2023 г; б) Векторное представление переноса атлантических вод по разрезам в Баренцевом море в декабре 2023 г. по данным SADCР.(Экспедиция 93-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш»).

Приборы и методы измерений

Для определения потока воды, проходящей через океанологический разрез, использовались данные судового доплеровского акустического измерителя течений (SADCP), установленного на судне «Академик Мстислав Келдыш». Измерение вертикальных профилей скорости течения производится SADCP каждые 3 секунды или через каждые 13-14 м по трассе движения судна по разрезу. Прибор связан с судовой системой навигации, что позволяет получать данные по скорости и направлению течения, точные координаты измерений, скорость и направление движения судна (bottom track), а также глубину по трассе измерения. В процессе измерения возникают ошибки, связанные с измерениями скорости непосредственно под судном и около дна. Первая ошибка связана с вертикальной зоной акустической тени при измерениях вблизи судна, которую производитель прибора предлагает исключить, как зону тени, оценив ее в 16.4 м от судна. Вторая – связана с реверберацией акустического сигнала при отражении от дна. Для решения проблемы отсекажения ложных сигналов обратного отражения от придонного слоя для каждого значения скорости был произведен расчет величины отклонения:

$$Z_i = \left| \frac{x_i - \bar{x}}{sd} \right|$$

где x_i – значение компоненты скорости по глубине, \bar{x} – среднее значение компоненты скорости по глубине, sd – среднеквадратическое отклонение. Таким образом, в нижнем слое определяется точка, где значения отклонения (Z_i) отклоняются более чем на $2.5sd$ - условно принятой сигмы, глубже которой точки значения выбрасываются

После обработки данных судового ADCP мы получаем разрез, состоящий из множества точек, для каждой из которых известна глубина, широта и долгота, значения компонент скорости по глубине за исключением верхнего и нижнего слоев. Для определения расхода воды для каждого измерения находим среднее значение скорости по достоверным данным, умножаем это значение на глубину и на расстояние между координатами следующей и предыдущей точки и делим на 2. Таким образом, получаем расход через небольшую часть разреза, просуммировав значения расхода через все измерения на разрезе, получаем результирующий расход воды.

Обсуждение результатов наблюдений

Анализ распределения водных потоков в Баренцевом меридиональном направлении по разрезам показал (табл.1), что перенос воды в Баренцевом море в ЮВ направлениях осуществлялся

по разрезам 5 и 6. Перенос вод через северный разрез №3 показывает, что поток атлантических вод, обошедший о. Новая Земля с севера устремляется в Карское море в ЮВ направлении.

Из данных табл.1 видно, что максимальный перенос пришелся на разрез №6, где он составил 19.74 Св в направлении 172°. Источником такого сильного переноса, мы предполагаем течение Маркова и Персея, которые приносят Арктические воды в сторону Карских ворот, такая картина характерна для летнего периода наблюдений [4]. Также на рисунке 3 хорошо видно усиление Мурманского прибрежного течения. Влияние теплого Мурманского течения, хорошо заметно на разрезе № 4, что отразилось и на общий результат переноса в 6.7 Св. в северном направлении.

Наибольшая изменчивость течений, как по величинам скорости, так и по направлениям наблюдалась на разрезах № 1, 2 и 3 между о. Новая Земля и Северным Ледовитым океаном (СЛО). В этом регионе наблюдается перенос вод северо-атлантического происхождения в направлении Карского моря, скорость которого достигает 70 см/с. Здесь же, севернее этого района наблюдаются струи атлантических вод западного направления, которые вышли из СЛО.

Методика измерения расхода воды по разрезам

Отсечение потоков в верхней и нижней частях разреза вносят определенные ошибки в расчет общего переноса вод через разрез. Для учета этой погрешности разберем пример из описания методики расчета. На графике рис.2, глубина 240 м, отсечение (красная линия) 210 м и на верхнем профиле 16.4 м – нет данных измерений. Таким образом, на данном графике:

$$\text{Ошибка верхнего слоя [\%]} = 16.4 / 240 * 100\% = 6.8\%$$

$$\text{Ошибка придонного слоя [\%]} = (240-210) / 240 * 100\% = 12.5\%$$

Для того чтобы рассчитать такие погрешности в процентах ко всему разрезу какие вносят приповерхностные и придонные ошибки - производился расчет по каждой сумме верхних отсечений и сумме нижних отсечений, в результате чего получаем расчет полной погрешности.

Выявлено слияние двух ветвей Западно-Новоземельского течения вблизи северной оконечности архипелага Новая Земля.

Показано соответствие строжней каждой ветви течения локальным максимумам температуры, максимальная скорость переноса теплой воды североатлантического происхождения в направлении Карского моря достигала 70 см/с.

Для различных форм рельефа выявлены разные стадии

конвекции: от однородных слоев от поверхности до дна, до сложных перемежающихся структур в районах стрежней трех основных ветвей Нордкапского и Мурманского прибрежного течения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амбросимов А.К., Ковалев Г. А. О мезомасштабных колебаниях Ямальского течения // Научтехиздат. Экологические системы и приборы. 2023. №12. С.47-53.
2. Система Баренцева моря // А.П. Лисицын отв. ред. Москва: ГЕОС, 2021. – 672 с.
3. Матишов Г.Г., Павлова Л.Г. Соленость в условиях океанического перигляциала в Арктических морях // Доклады РАН. – 1999. – Т. 367. – № 1. – С. 115–116
4. Экологический Атлас. Баренцево море // ПАО «НК «Роснефть», ООО «Арктический Научный Центр», Фонд «НИР». — Москва: Фонд «НИР», 2020. — 447, [1] с. : ил. — (Экологические атласы морей России). ISBN 978-5-6043256-4-3 / Стр. 84-121

УДК 551.465

ОБ ОТДАЧЕ ТЕПЛА ФАВ В ПРОЛИВАХ ПРИ ДВИЖЕНИИ НА ВОСТОК ВДОЛЬ СКЛОНА СЛО.

Амбросимов А.К., Ковалев Г.А., Щука А.С.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

ON THE HEAT RELEASE OF THE FAW IN THE STRAITS WHEN MOVING EASTWARD ALONG THE SLOPE OF THE ARCTIC OCEAN.

Ambrosimov A.K., Kovalev G.A., Shchuka A.S.

*P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of
Sciences*

В работе представлены фрагменты работы климатического конвейера в арктическом бассейне. Показано, что основное тепло ФАВ, при движении на восток, отдает в желобах, примыкающих к СЛО.

The paper presents fragments of the work of the climate conveyor in the Arctic basin. It is shown that the main heat of the FAW, when moving eastward, is released in the troughs adjacent to the Arctic Ocean.

Ключевые слова: склон СЛО, фрамовские воды, течение, отдача тепла.

Key words: SLO slope, Fram waters, current, heat output.

Выполнена оценка переноса водных масс через меридиональный разрез по 39° в. д. в начале зимнего периода 2023-2024г. в условиях зимней полярной ночи. Оценены объемы и направления переноса вод. Выявлено слияние двух ветвей Западно-Новоземельского течения вблизи северной оконечности архипелага Новая Земля. Показано соответствие стречней ветвей течения локальным максимумам температуры. Приведено описания механизма измерения объема водного переноса на основании данных судового SADCР.

В последние десятилетия обозначились климатические изменения на планете, которые наиболее ярко проявились в арктической части европейского региона. Теплые атлантические воды (АВ) выйдя из пролива Фрама входят в Северный Ледовитый океан и по его склону распространяются в восточном направлении подогревая климат региона. Эти воды, под названием Фрамовские атлантические воды (ФАВ) заходят на своем пути в желоба и проливы, примыкающие к СЛО вдоль восточного склона и отдают там часть своего тепла. При этом часть Фрамовской воды доходят до желобов Св. Анны и Воронина. Частично ФАВ проходят через желоб Св. Анны и попадают в Баренцево море. Поток этих вод регулярно регистрируется в Баренцевом море на океанологических разрезах Новая-Земля – ЗФИ.

Наблюдения в желобе Хинлопен (рис.1) показали интенсивное вхождение теплых Фрамовских вод (ФВ) из СЛО в глубь пролива по его западному побережью в южном направлении и выход вод из желоба по его восточному краю в СВ направлении. Показаны начальные характеристики потока теплых Фрамовских вод при входе на континентальный склон Северного Ледовитого океана (СЛО) в районе желоба Хинлопен (северо-западная часть арх. Шпицберген) по

данным измерений в 96-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2024 г. (стрелки на рисунке показывают географическое направление течения, длина стрелки - величина модуля скорости, а величина яркости красного фона – температура потока Атлантических вод).

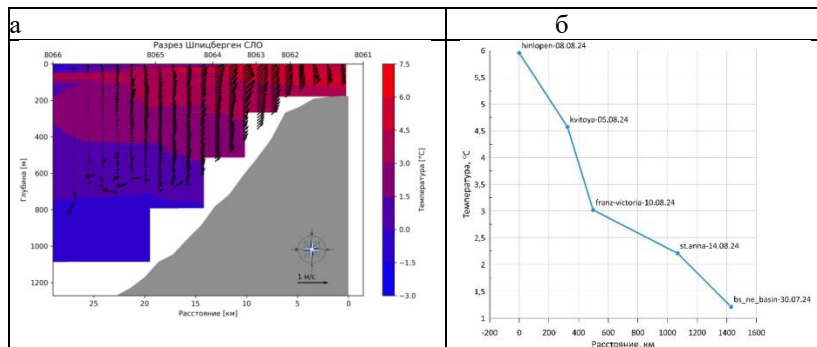


Рис. 1. а) Скорость, направление течения и температура ФАВ вдоль склона СЛО у желоба Хинлопен; б) Изменение максимальной температуры воды в желобах в западной части бассейна Нансена, Баренцевом и Карском морях.

Представленная картина рассчитана по данным дистанционного акустического зондирования водной толщи с помощью судового SADCР и STD-зондирований на океанологических станциях 96-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2024 г. Показано, что входящий в СЛО поток имеет ширину около 25 км, глубину около 750 м, скорость потока от 10 до 60 см/с в восточном и северо-восточном направлении.

Выполненные последовательно разрезы течений ФАВ в глубоководных желобах от желоба Хинлопен до желоба Воронина (рис.2) позволяют сделать оценку отдачи тепла этой водной массы в западной части бассейна Нансена, Карском и Баренцевом морях. На рис. 1б. представлено изменение максимальной температуры в теплом ядре ФАВ на последовательных разрезах в желобах, примыкающих к СЛО. Из рисунка видно, что наиболее быстрое уменьшение температуры происходит на участке от ж. Хинлопен до ж. Франц Виктория: на расстоянии 500 км температура уменьшается на 3°C. На 1000-километровом участке между ж. Франц Виктория и Северо-восточным бассейном БМ уменьшение максимальной температуры в теплом ядре ФАВ составляет 1.75°C. Если предположить, что изменение максимальной температуры в ядре адекватно

аппроксимирует изменение интегрального теплосодержания, то полученный результат означает, что на этапе трансформации из поверхностной в промежуточную водную массу ФАВ теряет около 80% своего исходного теплосодержания. Такая оценка близка к историческим оценкам второй половины 20-го века [2], где авторы справедливо предполагали, что эти теплотери обусловлены, в первую очередь, охлаждением верхнего слоя вследствие теплоотдачи в атмосферу и таяния льда. В начале 2000-х годов с появлением возможности постановки долговременных автономных буйковых станций в морях, круглогодично покрытых льдом, эта гипотеза полностью подтвердилась. В частности, было установлено, что в бассейне Нансена температура в ядре ФАВ испытывает значительные сезонные колебания, не связанные с прямым атмосферным форсингом, поскольку фаза этих колебаний не совпадает с астрономической [1]. Так, в районе 31° в.д. (разрез к востоку от ж. Орли) максимальная температура в ядре ФАВ в среднем достигается в середине ноября, примерно на 1 месяц позже, чем в круглогодично свободной от льда северной части пролива Фрама. Средний за период 2004 – 2008 год размах колебаний температуры на 31° в.д. на глубине 217 м составляет около 1.5°.

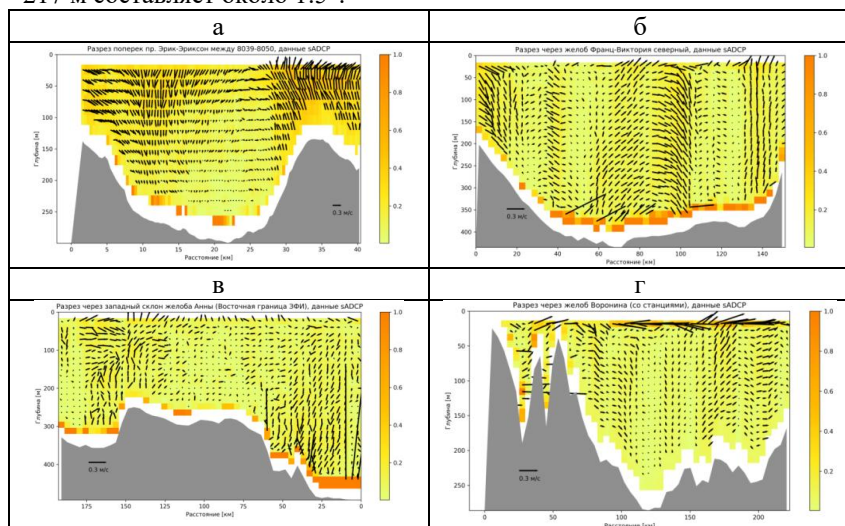


Рис. 2. Разрезы скоростей и направлений течений в желобах, примыкающих к СЛО: желоб Орли, Франц-Виктория, Св. Анны, Воронина.

Наиболее интенсивные течения южных направлений наблюдаются у западных склонов желобов и интенсивные течения северо-восточных направлений у восточных склонов.

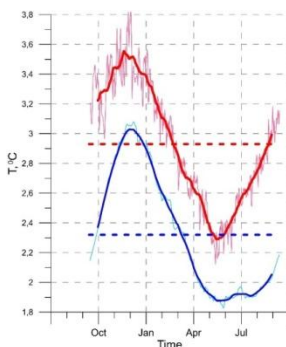


Рис.3. Среднее изменение температуры на горизонте 217 м (в ядре ФАВ) на разрезе вдоль 31°в.д. в 2004 – 2008 гг. Красный цвет – измерения, синий цвет – реанализ.

Если ввести соответствующую поправку на сезонные изменения, то, с учетом того, что этот разрез в рейсе АМК-96 выполнялся 5 августа, измеренная температура примерно на 1°C меньше максимальной температуры в ядре ФАВ (4.5°C), которая предположительно будет достигнута в середине ноября (5.5°C). Абсолютный максимум температуры (5.0°C) был зафиксирован на этом разрезе 13 сентября 2006 года в экспедиции НАБОС-2006, когда наблюдалось заметное повышение температуры атлантической воды вдоль ее траектории в Северо-Европейском бассейне и в бассейне Нансена [3]. С учетом сезонной поправки, оценка максимальной температуры в середине ноября 2006 составляет 5.7°C, что с учетом погрешности практически совпадает с максимальной температурой, которая ожидается в середине ноября 2024 года. Таким образом, можно гипотетически утверждать, что в Северный Ледовитый океан в 2024 году вошла очередная «тепловая волна» из Северной Атлантики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В.В., Репина И. Contribution of Convection-Induced Heat Flux to Winter Ice Decay in the Western Nansen Basin //J. Geophys/Res. 2018.

2. Трешников А.Ф., Баранов Г.И., Структура циркуляции вод арктического бассейна. Л. Гидрометеиздат.1972. 158 с.
3. Polyakov I.V., Alexeev V.A. ets. North Atlantic warming: patterns of long-term trend and multidecadal variability// Springer. DOI 10.1007/s00382-008-0522-3

УДК 551.465

**СРАВНЕНИЕ ПОТОКОВ ВОДНЫХ МАСС НА РАЗРЕЗЕ
МЕЖДУ ЗЕМЛЁЙ ФРАНЦА-ИОСИФА И НОВОЙ ЗЕМЛЁЙ В
ЗИМНИЙ И ЛЕТНИЙ ПЕРИОДЫ ПО ДАННЫМ
ЭКСПЕДИЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 93-ГО И 96-ГО РЕЙСОВ
НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»**

Ковалев Г. А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997,
Москва, Нахимовский пр., 36, i@gleb.uz*

**WATER MASS FLUXES ACROSS THE SECTION BETWEEN FRANZ
JOSEF LAND AND NOVAYA ZEMLYA IN WINTER AND SUMMER**

Kovalev G.A.

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, i@gleb.uz

Доклад анализирует сезонные изменения водообмена между Землёй Франца-Иосифа и Новой Землёй, расширяя экспериментальные данные и улучшая понимание изменений в тепловых потоках Баренцевоморской ветви Атлантического течения. Описан улучшенный метод обработки данных ADCP, учитывающий непрямолинейность траектории судна и различие траекторий за разные периоды измерений.

The report analyzes seasonal changes in water exchange between Franz Josef Land and Novaya Zemlya, expanding experimental data and improving the understanding of changes in the heat fluxes of the Barents Sea branch of the Atlantic current. It describes an enhanced ADCP data processing method that accounts for the non-linear ship trajectory

Ключевые слова: Новая Земля, Земля Франца-Иосифа, ADCP, водные массы, судовые измерения.

Разрез между Землёй Франца-Иосифа и Новой Землёй представляет собой один из ключевых выходных потоков Баренцева моря в Карское море и Северный Ледовитый океан. В докладе обсуждаются сезонные изменения водообмена через этот участок на основе экспедиционных измерений с использованием судового ADCP. Значительная сезонная изменчивость на этом разрезе была отмечена в статье [1], однако её результаты демонстрируют изменения только для одного из сезонов. Настоящее исследование, вкупе с измерениями прошлых лет, расширяет экспериментальные данные и позволяет лучше понять изменения в тепловых потоках Баренцевоморской ветви Атлантического течения, что важно для изучения изменения климата Арктики.

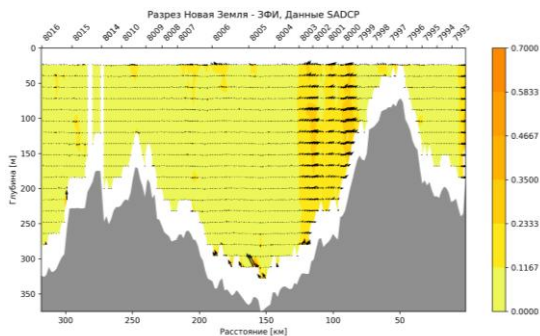


Рис. 1 Данные переноса вод через разрез ЗФИ – Новая земля, после программной обработки по данным судового ADCP рейса АМК96.

Цветом показана абсолютная скорость потока в м/с.

Важное место в докладе автор уделяет описанию механизма обработки данных судового ADCP. В частности, рассматриваются меры по уменьшению влияния погрешности измерений в придонной области, особенности учета придонных течений, а также методы обработки данных во время стоянок судна и при его перемещении к необходимым точкам, находящимся за пределами прямой, соединяющей архипелаги. Уточняется, что произошли изменения по сравнению с методикой, описанной в докладе [2], в части повышения точности учета придонных течений и обработки данных в специфических условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Loeng, H. Water fluxes through the Barents Sea / H. Loeng, B. Ådlandsvik, V. Ozhigin // ICES Journal of Marine Science. – 1997. – Vol. 54, No. 3. – P. 310-317. – DOI 10.1006/jmsc.1996.0165. – EDN LEMVTH.
2. Ковалев, Г. А. Оценки переноса объемов атлантических вод по океанологическим разрезам Баренцева моря в начале зимнего периода 2023-2024 года / Г. А. Ковалев, А. К. Амбросимов // Проблемы экоинформатики : Материалы XVI Международного симпозиума, Москва, 03–05 декабря 2024 года. – Москва: Московское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С.Попова, 2024. – С. 67-71. – EDN QQWZEQ.

УДК 551.46

ОСОБЕННОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ВНУТРЕННИХ ВОЛН РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ И ТОЧЕЧНЫМИ ДАТЧИКАМИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Химченко Е.Е.¹, Серебряный А.Н.¹, Попов О.Е.²

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997, Москва, Нахимовский пр., 36, 8(499)124-13-01,
ekhyu@ocean.ru*

² *Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, 119017
Москва, Пыжевский переулок, д.3, 8 (495) 951-55-65*

FEATURES OF REGISTRATION OF INTERNAL WAVES BY LINE AND POINT SENSORS OF TEMPERATURE

Khimchenko E.E.¹, Serebryany A.N.¹, Popov O.E.²,

¹ *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of
Sciences, 36, Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia
ekhyu@ocean.ru*

² *Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences,
Pyzhyovskiy per., 3, Moscow, 119017, Russia*

Представлены некоторые результаты регистрации внутренних волн на северо-восточном шельфе Черного моря, полученные на заякоренных станциях, оснащенных точечными и распределенными датчиками температуры.

Some results of recording internal waves on the north-eastern shelf of the Black Sea, obtained at moored stations equipped with point and line sensors of temperature, are presented.

Ключевые слова: внутренние волны, Черное море, распределенный датчик температуры, термистор, заякоренная станция.

Key words: internal waves, Black Sea, line sensor of temperature, thermistor, mooring.

Основной методикой наблюдения за внутренними волнами в морской среде являются долговременные измерения флуктуаций гидрологических характеристик, таких как температура, соленость, скорость звука, скорость и направление течений [1]. Широко распространен способ определения вертикальной компоненты орбитальных скоростей с высоким временным разрешением косвенным методом оценки по флуктуациям консервативной, устойчиво стратифицированной гидрологической характеристики, где переход к вертикальным скоростям осуществляется через вертикальный градиент регистрируемой характеристики. При исследовании внутренних волн в пикноклине (термоклине) в качестве такой характеристики может быть выбрана температура морской воды.

Для регистрации внутренних волн успешно применяются заякоренные цепочки, оснащенные точечными датчиками температуры (термокосы) или распределенным датчиком температуры (РДТ). РДТ, предложенный в [2], измеряет среднюю температуру, охватываемого им слоя, отслеживая, вызванные внутренними волнами, колебания температуры. Недавно был разработан автономный РДТ [3]. Наиболее информативной является постановка нескольких разнесенных по пространству заякоренных цепочек. На акватории Черного моря такие работы начали проводиться уже более полувека назад и активно продолжают в настоящее время (например, [4, 5]).

В работе рассматриваются данные наблюдений за внутренними волнами в Черном море, зарегистрированные как при помощи точечных датчиков температуры, так и РДТ. На рисунке 1

представлены примеры осредненной записи гирлянды термисторов и РДТ, выполненные в июне 2018 г. у м. Сухумский. Визуально хорошо видны синхронные колебания термоклина с вертикальным размахом 2–3 м, как на записи РДТ, так и на осредненной записи термогирлянды. Для сравнения представлена запись смещения изотерм, полученная по данным точечных датчиков (рис. 2), такое представление данных позволяет более точно оценить масштаб вертикальных смещений, наблюдаемых процессов. Видно, что в первые 17 ч наблюдений размах колебаний изотермы 22 °С составляет 8 м, что более чем в два раза выше по сравнению со смещением по осредненным данным, полученным РДТ. Кроме того, смещения изотерм позволяют выявлять цуги короткопериодных внутренних волн, которые могут быть усреднены РДТ. В дальнейшем был проведен частотный спектральный анализ для рядов данных РДТ и смещений изотермы, который выявил пики, соответствующие периодам 2–2.4 ч, 30–40 мин, 18 мин и 4 мин. При этом по уровню энергии спектр смещений изотермы лежал выше во всем диапазоне частот.

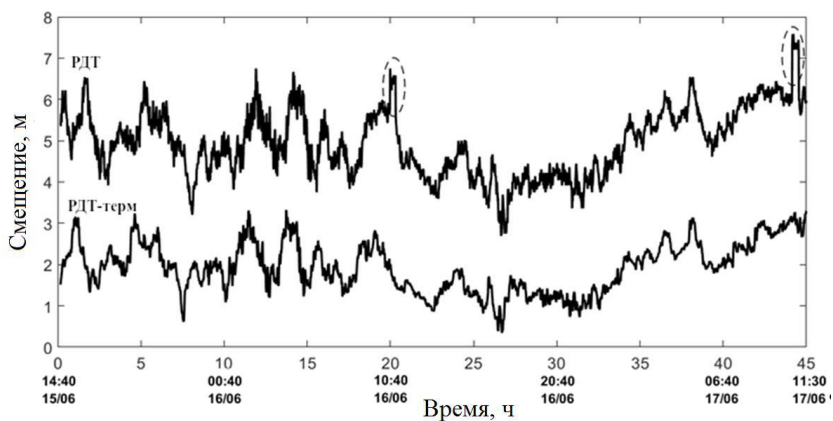


Рис. 1. Запись РДТ (сверху) и осредненного сигнала гирлянды из пяти точечных датчиков температуры (снизу). Эллипсами отмечены моменты измерения отклика РДТ на вертикальное смещение в 1 м.

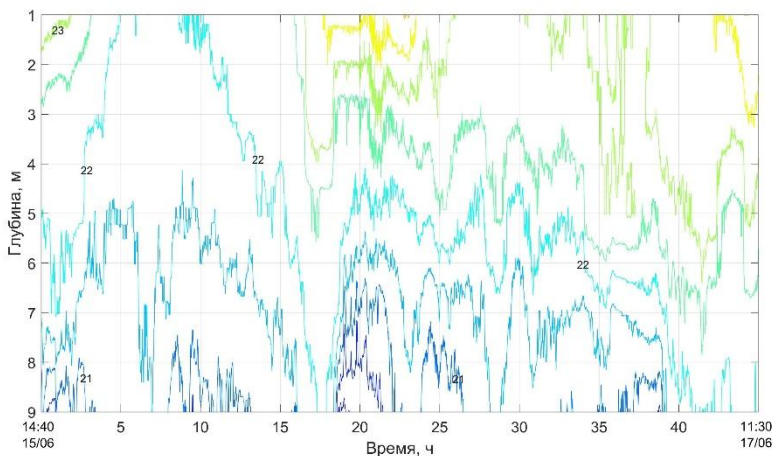


Рис. 2. Смещение изотерм по данным пяти точечных датчиков температуры. Изотермы проведены через 0.5 °С.

Отдельно стоит отметить, что применение точечных датчиков позволяет регистрировать волновые колебания выше первой моды в отличие от РДТ, который их фильтрует. Однако, применение ступенчатых датчиков, состоящих из нескольких РДТ, расположенных по вертикали, может это преодолеть.

Применение как термокос, оснащенных точечными датчиками, так и автономным РДТ, представляют собой удобные и необходимые средства контактных измерений внутренних волн в морской среде. При этом стоит отметить, что изготовление и калибровка РДТ отличаются простотой. Термокосы, хорошо обеспеченные датчиками по вертикали, позволяют получить наиболее полную картину изменчивости гидрофизических процессов в водной толще, регистрируя помимо внутренних волн, и другие, в том числе, тонкоструктурные процессы.

Работа выполнена в рамках темы госзадания № FMWE-2024-0024.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов А.С., Парамонов А.Н. Автономная система распределенных датчиков температуры // Морские гидрофизические исследования. –1980. – № 1. – С.147–151.

2. Коняев К.В., Сабинин К.Д. Новые данные о внутренних волнах в море, полученные с помощью распределенных датчиков температуры // Докл. АН СССР. – 1973. – Т.209. – № 1. – С. 86–89.
3. Денисов Д. М., Серебряный А. Н. Автономный измеритель внутренних волн на основе распределенного датчика температуры // Приборы и техника эксперимента. – 2019. – № 2. – С. 159–160. EDN GSICWX. doi:10.1134/S0032816219020058
4. Serebryany A., Khimchenko E., Popov O., Denisov D., Kenigsberger G. Internal waves study on a narrow steep shelf of the black sea using the spatial antenna of line temperature sensors // J. Mar. Sci. Eng. 2020. Vol. 8, No. 11. P. 1–16. <https://doi.org/10.3390/jmse8110833>.
5. Очередник В. В., Зацепин А. Г. Цуги короткопериодных внутренних волн на шельфе Черного моря по данным измерений кластера термокос // Морской гидрофизический журнал. – 2023. – Т. 39. – № 5. – С. 650–670.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕЛКОМАСШТАБНОЙ
ТУРБУЛЕНТНОСТИ ГЕНЕРИРУЕМОЙ КОЛЕБЛЮЩИМИСЯ
ВЕРТИКАЛЬНЫМИ СТЕРЖНЯМИ В ВОДНОЙ СРЕДЕ
МЕТОДОМ PIV (ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ).**

Герасимов В.В.¹, Зацепин А.Г.¹, Кандауров А.А.², Сергеев Д.А.²

¹*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия*

²*Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН,
Нижний Новгород, Россия*

zatsepin@ocean.ru, gerasimov.vv@ocean.ru, sergeev4758@gmail.com

DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF SMALL-SCALE
TURBULENCE GENERATED IN WATER MEDIA BY OSCILLATING
VERTICAL RODS BY PIV METHOD (LABORATORY EXPERIMENT)

Gerasimov V.V.¹, Zatsepin A.G.¹, Kandaurov A.A.², Sergeev D.A.²

¹*P.P. Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences*

²*A.V. Gaponov-Grekhov Institute of Applied Physics
of the Russian Academy of Sciences*

zatsepin@ocean.ru, gerasimov.vv@ocean.ru, sergeev4758@gmail.com

Описаны результаты эксперимента по определению характерных масштабов турбулентных пульсаций в водной среде методом PIV (Particle Image Velocimetry), и их связи с параметрами колебаний вертикальных стержней в лабораторном бассейне.

The results of an experiment conducted to determine the characteristic scales of turbulent pulsations in an aquatic environment using the PIV (Particle Image Velocimetry) method, and their relationship with the parameters of vertical rods oscillation in a laboratory tank are described.

Ключевые слова: турбулентное перемешивание, однородная и стратифицированная водная среда, ее тонкоструктурное расслоение, измерение скорости турбулентных пульсаций методом PIV.

Key words: turbulent mixing, homogeneous and stratified aqueous medium, its fine-structured stratification, measurement of the velocity of turbulent pulsations by the PIV method.

Эксперимент заключался в определении скорости и частоты турбулентных пульсаций методом PIV в водной среде, перемешиваемой горизонтально колеблющимися решетками из вертикальных стержней.

Получены временные ряды пульсаций скорости в различных точках бассейна (Рис. 1).

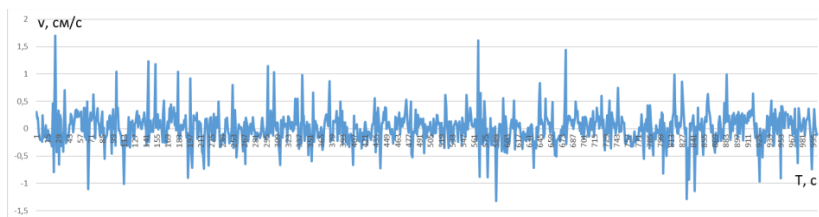


Рис.1. Временная реализация вертикальных пульсаций скорости на расстоянии 9 см от дна бассейна в однородной по плотности водной среде в опыте с размахом колебаний стержней 2,5см и периодом 1,8 с.

В результате обработки данных, получены характерные значения вертикальной скорости пульсаций (среднеквадратичные значения), периода пульсаций и пространственного масштаба пульсаций (Табл. 1) и определена зависимость пространственного масштаба пульсаций от числа Рейнольдса Re (Рис. 2).

	Re	v см/с	T _v , с	m _v , см
1	225	0,32	6,3	2,0
2	189	0,28	6,2	1,8
3	171	0,27	6,4	1,8
4	143	0,23	6,7	1,5
5	115	0,16	6,7	1,1
6	114	0,16	6,8	1,1
7	86	0,11	6,8	0,7

Таблица 1. Результаты измерений: v-скорость вертикальных пульсаций, T_v – их период, m_v = T_v*v – их пространственный масштаб.

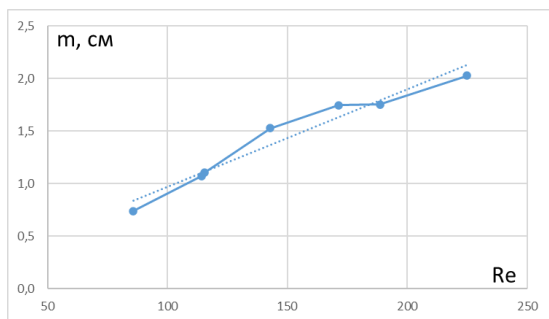


Рис.2 Зависимость пространственного масштаба пульсаций m от Re.

Получены близкие к линейным зависимости: «внутреннего» числа Рейнольдса $Re^* = vm_v/v$, вычисленного по масштабу вертикальных пульсаций скорости от «внешнего» числа Re, а также «внутреннего» числа Ричардсона $Ri^* = g\beta\Delta S m_v / (\rho v^2)$, где g – ускорение свободного падения, β – коэффициент солёностного сжатия, ΔS – текущий перепад солёности между приповерхностным и придонным

слоями воды, H – толщина слоя воды в бассейне, от «внешнего» числа $Ri = g\beta\Delta Sd / (\rho U)^2$ для линейно-стратифицированной водной среды.

Данная работа является продолжением исследования тонкоструктурного расслоения линейно-стратифицированной жидкости при турбулентном перемешивании [1] подтверждающей механизм, предложенный Филлипсом [2] и Посментьером [3].

Была рассчитана зависимость потока соли Q_s от числа Ri^* (Рис. 3), которая показала картину, аналогичную зависимости потока от числа Ri построенного по внешним параметрам колебания стержней с чередованием зон с уменьшением и ростом Q_s в зависимости от Ri .

Результаты опытов показали связь внутренних масштабов турбулентности с масштабами, задаваемыми параметрами эксперимента. Однако абсолютные значения числа Ri^* ($Ri^* \gg Ri$) дают основания полагать, что перемешивание жидкости происходит не за счет энергии пульсаций скорости в области между стержнями, где проводилось их измерение, а в основном, за счет движения жидкости в непосредственной близости от стержней. Таким образом, подтверждена справедливость принятия для расчетов внешних масштабов турбулентности, используемых в предыдущих работах авторов по изучению связи тонкоструктурного расслоения стратифицированной водной среды с вертикальным турбулентным массообменом [4, 5].

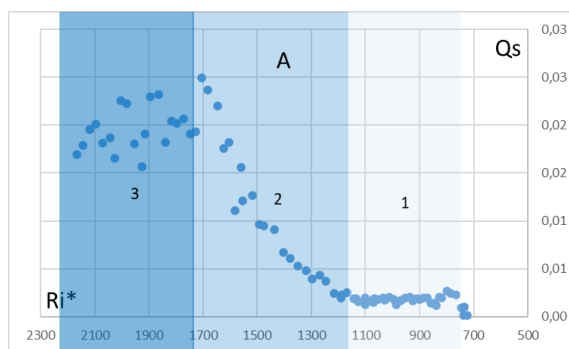


Рис.3 Зависимость потока соли Q_s от числа Ri^* . Область 3 – формирование устойчивых высоко градиентных прослоек, 2-разрушение этих прослоек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов В.В., Зацепин А.Г. Связь тонкоструктурного расслоения стратифицированной водной среды с вертикальным турбулентным массообменом. Многофазные системы; РФ; 2023; Том 23 №4, стр. 376-377
2. Phillips, O.M. Turbulence in a strongly stratified fluid: Is it unstable? In Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 1972; Volume 19, pp. 7–81
3. Posmentier, E.S. The generation of salinity fine structure by vertical diffusion. J. Phys. Oceanogr. 1977, 7, 298–300.
4. Zatsepin A.G.; Gerasimov V.V.; Ostrovskii A.G. Laboratory Study of Turbulent Mass Exchange in a Stratified Fluid. // J. Mar. Sci. Eng. 2022, 10, 756-774. <https://doi.org/10.3390/jmse10060756>
5. Gerasimov V.V, Zatsepin A.G., Relationship between Fine Layering of Stratified Water Environment and Vertical Turbulent Mass Transport. // Oceanology, 2024, Vol. 64, No. 5, pp. 647–657

УДК 551.465

«ЛАБОРАТОРНЫЕ» ПРИМЕРЫ ОБРАЗОВАНИЯ КОГЕРЕНТНЫХ СТРУКТУР В СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ И ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ ЗА СЧЕТ НЕЛИНЕЙНЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ

Зацепин А. Г., Герасимов В. В., Елкин Д. Н.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр.,
36, 117997, г. Москва, 8(499)124-63-92, dmelkin@mail.ru*

EXAMPLES OF FORMATION OF COHERENT STRUCTURES IN STRATIFIED AND ROTATING FLUID DUE TO NONLINEAR HYDRODYNAMIC EFFECTS (LABORATORY EXPERIMENT

Zatsepin A.G., Gerasimov V.V., Elkin D.N.

*P.P. Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences
zatsepin@ocean.ru*

В двух различных лабораторных экспериментах продемонстрировано образование когерентной структуры в стратифицированной и вращающейся жидкости под влиянием нелинейности гидродинамических процессов.

The formation of a coherent structure in a stratified and rotating fluid under the influence of nonlinear hydrodynamic effects is demonstrated by means of two different laboratory experiments.

Ключевые слова: Линейная стратификация, турбулентное воздействие, тонкая структура, вращающаяся жидкость, наклонное дно, источник массы, периодическое вихреобразование

Key words: Linear stratification, turbulent stirring, fine structure, rotating fluid, sloping bottom, mass source, periodic eddy formation.

Приводятся два «лабораторных» примера образования когерентной структуры в стратифицированной и вращающейся жидкости под влиянием нелинейности гидродинамических процессов.

Первый пример – тонкое расслоение непрерывно стратифицированной по плотности (солености) водной среды вследствие вертикально однородного долговременного турбулентного воздействия [1]. Проведена серия опытов с перемешиванием водной среды с изначально линейным вертикальным градиентом солености колеблющимися вертикальными стержнями, создающими однородное турбулентное воздействие по всей толщине водного слоя (рис. 1). В каждом опыте выполнялись регулярные измерения профилей электропроводности (солености) и проводились расчеты вертикального потока соли (массы). Оказалось, что при достаточно большом градиенте плотности (солености) линейная стратификация постепенно преобразуется к ступенчатому виду. При этом поток массы является убывающей функцией градиента плотности, а это является основным условием формирования ступенчатой тонкой структуры, согласно механизму Филлипса [2] и Посментьера [3]. Результаты опытов подтвердили его реалистичность и реализуемость. Установлена также зависимость вертикального масштаба тонкой структуры от параметров стратификации и турбулентного воздействия.

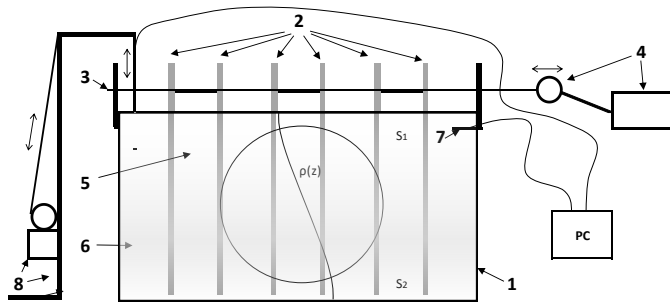


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. 1 – бассейн из оргстекла; 2 – система решеток с вертикальными стержнями; 3 – колеблющийся шток; 4 – электродвигатель с эксцентриком; 5 – линейно стратифицированная по солености водная среда; 6 – микродатчик электропроводности; 7 – датчик электропроводности «Эксперт 002»; 8 – вертикальный лифт PC – персональный компьютер; S1 – соленость верхнего слоя, $\rho(z)=\beta dS/dz$ – вертикальный градиент плотности, круг в центре бака соответствует очертаниям плоскопараллельного пучка света, создаваемого теневым прибором.

Второй пример – периодическое вихреобразование под воздействием локального источника постоянного расхода воды во вращающейся жидкости над наклонным дном [4, 5, 6]. В данном лабораторном эксперименте, проводившемся в цилиндрическом бассейне на вращающейся платформе, локальный источник представлял собой вертикальную трубку, конец которой располагался чуть ниже поверхности водного слоя на расстоянии, равном половине радиуса бассейна, от его центра. Он снабжался водой с постоянным расходом из внешнего резервуара. Под источником образовывалась антициклоническая вихревая колонка. Достигнув критического диаметра, вихревая колонка «уходила» из под него из-за топографического бета-эффекта и перемещалась над наклонным дном в антициклоническом («западном») направлении, а на ее месте образовывалась новая колонка, и т.д. (рис.2).

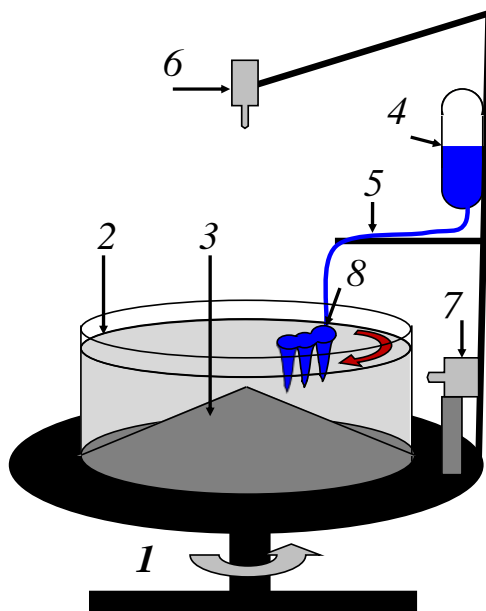


Рис.2 Схема экспериментальной установки: 1 – циклонически вращающаяся платформа; 2 – цилиндрический бассейн из оргстекла; 3 – наклонное дно (поверхность вписанного в бассейн конуса); 4 – объемная бюретка с краном (источник); 5– трубка; 6 – видеокамера сверху; 7 – видеокамера сбоку; 8– вытекающая из источника подкрашенная вода и образующиеся под источником антициклонические вихри, перемещающиеся в направлении красной стрелки за счет топографического бета-эффекта.

В первом примере ступенчатое расслоение изначально линейно стратифицированной водной среды формируется из-за подавления турбулентности сильной стратификацией и, вследствие этого, убывания вертикального потока массы с ростом градиента плотности при превышении критического значения числа Ричардсона. Оценки, сделанные применительно к океанскому пикноклину, показывают, что его тонкая структура может поддерживаться этим механизмом.

Во втором примере периодическое вихреобразование обусловлено уходом вихревой колонки из под источника при достижении ей критического диаметра, благодаря тому, что скорость «западного» дрейфа колонки за счет топографического бета-эффекта квадратичным образом возрастает с увеличением ее радиуса.

Описанный механизм вихреобразования может иметь отношение к формированию внутритермоклинных линз в океане.

Работа выполнена в рамках темы госзадания FMWE-2024-0016.

ЛИТЕРАТУРА

1. Phillips O.M. Turbulence in a strongly stratified fluid: Is it unstable? // Deep Sea Res. Oceanogr. Abstr. 1972. V. 19. P. 7-81.
2. Posmentier E.S. The generation of salinity fine structure by vertical diffusion // J. Phys. Oceanogr. 1977. V. 7. P. 298-300.
3. Zatsepin A.G., Gerasimov V.V., Ostrovskii A.G. Laboratory study of turbulent mass exchange in a stratified fluid // J. Mar. Sci. Eng. 2022. V. 10. P. 756-774. <https://doi.org/10.3390/jmse10060756>
4. Зацепин А.Г., Дидковский В.Л. Об одном механизме формирования мезомасштабных вихревых структур в склоновой зоне океана. – ДАН, 1996. Т.347. N1. С.109-112.
5. Зацепин А.Г., Дидковский В.Л., Семенов А.В. Автоколебательный механизм формирования периодической вихревой структуры от стационарного локального источника на наклонном дне во вращающейся жидкости. - Океанология. 1998. Т.37. N1.
6. Зацепин А. Г., Елкин Д. Н. Влияние подводного хребта на перемещение антициклонических вихрей над наклонным дном под действием топографического бетаэффекта: лабораторный эксперимент // Морской гидрофизический журнал. 2024. Т. 40, № 2. С. 298–311.

УДК 532.527

КОМПОЗИТНАЯ ВИХРЕВАЯ МОДЕЛЬ БОЛЬШОГО КРАСНОГО ПЯТНА ЮПИТЕРА

Аракелян Е.М.¹, Жмур В.В.^{1,2}, Чхетиани О.Г.³

¹ *Московский физико-технический институт (Национальный
Исследовательский Университет),
141701, Долгопрудный, Институтский переулок, 9,
8(495) 408-45-54, pk@phystech.edu*

² *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997, Москва, Нахимовский пр., 36, 8(499)124-13-01, resty@mail.ru*

³ *Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, 119017, Москва, Пыжевский пер., д. 3, 8(495) 951-55-65, ifaran@ifaran.ru*

COMPOSITE VORTEX MODEL OF JUPITER'S GREAT RED SPOT

Arakelyan E.M.¹, Zhmur V.V.², Chhetiani O.G.³

¹ *Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University), 141701, Dolgoprudny, Institutskiy Pereulok, 9, 8(495) 408-45-54, pk@phystech.edu*

² *Shirshov Institute of Oceanology, RAS, 117997, Moscow, Nakhimovskiy Ave, 36, 8(499)124-13-01, resty@mail.ru*

³ *A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics of the Russian Academy of Sciences, 119017, Moscow, Pyzhevskiy Pereulok, 3, 8(495) 951-55-65, ifaran@ifaran.ru*

Согласно измерениям, полученным в межпланетных миссиях и на космическом телескопе Hubble, основная внешняя часть вихря Большого красного пятна Юпитера (БКПЮ) – антициклоническая, в то время как внутренняя его область находится в циклоническом вращении. Это позволяет рассмотреть нам БКПЮ, как квазигеострофическое образование, составленное из двух вложенных в друг друга вихрей. Подобная вихревая структура с “вложением” может быть названа композитным вихрем. Таким образом, БКПЮ – это практически стационарный бароклинический вихрь в зональном потоке, который можно представлять, как баротропное течение со сдвигом. Рассматриваются две возможных конфигураций композитного вихря в рамках квазигеострофического подхода в приближении f-плоскости в стратифицированной атмосфере.

According to measurements obtained in interplanetary missions and on the Hubble Space Telescope, the main outer part of the vortex of Jupiter's Great Red Spot (JGRS) is anti-cyclonic, while its inner region is in cyclonic rotation. This allows us to consider the JGRS as a quasi-geostrophic formation composed of two vortices nested in each other. Such a vortex structure with “nesting” can be called a composite vortex. Thus, the JGRS is a practically stationary baroclinic vortex in the zonal flow, which can be represented as a shear barotropic flow. The authors consider two possible configurations of the composite vortex in the framework of the

quasi-geostrophic approach in the f-plane approximation in a stratified atmosphere.

Ключевые слова: Юпитер, Большое красное пятно Юпитера, стационарность, квазигеострофические бароклинные вихри, зональные течения

Key words: Jupiter, Jupiter's Great Red Spot, vortex, vorticity, stationarity, quasi-geostrophic baroclinic vortices, zonal currents

1. Стационарный композитный вихрь, составленный из двух эллипсоидальных софокусных вихрей в горизонтальном зональном баротропном потоке с постоянным сдвигом. Получено точное решение этой нелинейной задачи в рамках вращающейся стратифицированной атмосферы в приближении квазигеострофической f-плоскости. В основе решения лежат результаты исследования задачи об эллипсоидальном вихре, изложенные ранее в [1]. Важным условием здесь является стационарность формы обоих вихрей. В таком походе при заданной геометрии вихрей и сдвига фонового течения потенциальные завихренности обоих вихрей определяются однозначно. Основной вихрь имеет тот же знак потенциальной завихренности, что и фоновое течение. Вложенный вихрь имеет противоположную завихренность. Энергия композитного вихря превосходит при этом энергию однородного стационарного вихря без вложения.

2. Комбинация стационарного внешнего вихря и нестационарного вложенного вихря при условии, что он слабо влияет на поведение границы основного вихря. Оба вихря имеют здесь эллипсоидальную форму ядра и находятся под действием того же внешнего течения – баротропного зонального потока со сдвигом, что и в первом случае. Потенциальная завихренность основного вихря вычисляется точно, а завихренность вложенного вихря может быть произвольной. Внутренний вихрь движется как целое по эллиптическим орбитам внутри основного вихря. При этом деформации его ядра изменяются периодически с ограниченным колебанием горизонтальных полуосей. При совпадении центров вихрей, внутренний вихрь, оставаясь на месте, может вращаться с ограниченной деформацией своей границы. Если вложенный вихрь имеет завихренность противоположную к основному вихрю, то энергия композитного вихря оказывается меньшей, чем энергия однородного вихря без вложения. Последнее свойство указывает на энергетическую предпочтительность существования композитных вихрей с нестационарным вложением,

слабо влияющим на границу основного вихря.

Предложенная теория сравнивается с результатами наблюдений БКПЮ [2] в космических миссиях Voyager, Cassini, Galileo и HST. Оба возможных варианта композитной модели БКПЮ дают качественно схожие картины течений, однако модель с нестационарным циклоническим вложением требует меньше энергии для её поддержания, что говорит в пользу её более реальной применимости к описанию свойств БКПЮ, к которым относится, в частности, и нестационарность внутренних движений.

Изложенный математический метод применим также и для описания стационарных мезомасштабных вихрей океана в баротропных горизонтальных потоках со сдвигом.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Жмур В.В., Панкратов К.К. “Динамика эллипсоидального приповерхностного вихря в неоднородном потоке” // Океанология. 1989. Т. 29. № , с. 205-211
2. David S. Choi, Don Banfield, Peter Gierasch, Adam P. Showman “Velocity and vorticity measurements of Jupiter’s Great Red Spot using automated cloud feature tracking”, 2007, Icarus, 188: p. 35–46, doi: 10.1016/j.icarus.2006.10.037

УДК 551.465.7

ВНЕТРОПИЧЕСКИЕ ЦИКЛОНЫ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ И КОЛЕБАНИЯ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

Вязилова Н.А.

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеороинформации-Мировой Центр Данных», г.Обнинск, ул. Королева, д.6, 249035, 499- 795- 21-9 nav@meteo.ru

THE EXTRATROPICAL CYCLONES OF THE NORTH ATLANTIC AND ATMOSPHERIC CIRCULATION OSCILLATIONS

Viazilova N.A.

All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center, 6, Korolyov St., Obninsk, 249035

В работе исследуется взаимосвязь межгодовой изменчивости характеристик циклонической активности в Евро-Атлантическом регионе, представляемых в рамках ежемесячного мониторинга на портале ЕСИМО, с северо-атлантическим (САК) и восточно-атлантическим (ВАК) колебаниями атмосферной циркуляции

A study shows relationship between the interannual variability of cyclonic activity characteristics in the Euro-Atlantic region, presented as monthly monitoring on ESIMO Portal, with North Atlantic (NAO) and East Atlantic (EAC) oscillations of large-scale atmospheric circulation.

Данные и методы расчета. Настоящее исследование основано на анализе характеристик, - количества центров циклонов и индекса циклонической активности, - рассчитываемых и представляемых на портале ЕСИМО в рамках ежемесячного мониторинга циклонической активности в Евро-Атлантическом регионе в виде карт пространственного распределения и графиков интегральных региональных значений для выбранных районов. Индекс циклонической активности вычисляется как сумма аномалий атмосферного давления в центрах циклонов в каждой точке сетки за календарный месяц (сезон). Аномалии приземного давления в центрах циклонов были рассчитаны относительно ежемесячных климатических данных за период 1981-2010 гг. Региональные характеристики рассчитываются как суммарные значения характеристик, - количества центров циклонов, индекса циклонической активности, - по выбранному району за месяц (сезон).

Центры циклонов и траектории их смещения рассчитаны по 6-часовым данным атмосферного давления на уровне моря (MSLP) реанализа ERA5/ECMWF [1] за период с 1979 по 2022 гг. Метод идентификации центров циклонов и алгоритм расчета траекторий смещения центров циклонов подробно описан в статье [2].

На основе ежемесячных значений в данной работе были построены карты средних многолетних значений исследуемых параметров для зимнего сезона, а также карты композитных средних характеристик для выборок лет с различной комбинацией положительных и отрицательных фаз северо-атлантического и восточно-атлантического колебаний. В выборки включались зимние сезоны со значениями индексов NAO и EA равными и более 0,5.

Анализ межгодовой изменчивости параметров циклонической активности представлен для районов Исландского минимума, Балтийского, Баренцева и Средиземного морей, основных районах генерации и регенерации циклонов, выходящих на европейскую

территорию России [2], для каждого зимнего сезона, с октября по март, за период исследования.

Анализ результатов. Сравнение карт количества центров циклонов (рис.1) и индекса циклонической активности, построенных для различных выборок лет, показывает, что в зимние сезоны, отличившиеся одновременным интенсивным развитием положительных фаз колебаний (рис.1б), наблюдается значительное усиление циклонической активности по сравнению со средними многолетними значениями, как на акватории Северной Атлантики в районе Исландского минимума, так и в северных широтах Европы и субполярных широтах Атлантики, в том числе, в районе Баренцева моря. Характерной особенностью зимних сезонов, отличившихся совпадением отрицательных фаз колебаний (рис.1в), является существенное ослабление циклонической активности и в районе Исландского минимума, и в субполярных широтах Атлантики, и ее усиление в умеренных и субтропических широтах акватории Северной Атлантики.

Межгодовая изменчивость количества циклонов и индекса циклонической активности в районе Балтийского и Баренцева моря в течение всего периода исследования аналогична изменчивости характеристик циклонической активности в районе Исландского минимума, хотя сами значения параметров в этих районах слабее.

Максимальное усиление циклонической активности и в районе Исландского минимума, и в районе Балтийского и Баренцева моря отмечалось в зимние сезоны 1989-1990, 1999-2000, 2013-2014, 2019-2020 гг. Минимальные значения индекса циклонической активности в данных районах отмечены в зимние сезоны 1984-1985, 2005-2006, 2009-2010. В районе же Средиземного моря в эти годы наблюдалась обратная тенденция. Межгодовая изменчивость в выделенных районах Северной Атлантики в значительной степени обусловлена колебаниями крупномасштабной циркуляции. Северо-атлантическое колебание оказывает значительное влияние на активность циклонов в зимний сезон, прежде всего, в районе Исландского минимума, а также в субполярных районах Атлантики, в том числе в районе Баренцева моря. Например, значительное усиление циклонической активности в данных районах наблюдалось в зимний сезон 1999-2000 гг., отличившемся интенсивной положительной фазой САК на фоне отрицательных индексов ЕА. Однако, максимальное усиление циклонической активности в этих районах наблюдается в годы совпадения положительных фаз САК и ВАК, в эти же годы отмечается максимальное ослабление активности средиземноморских циклонов.

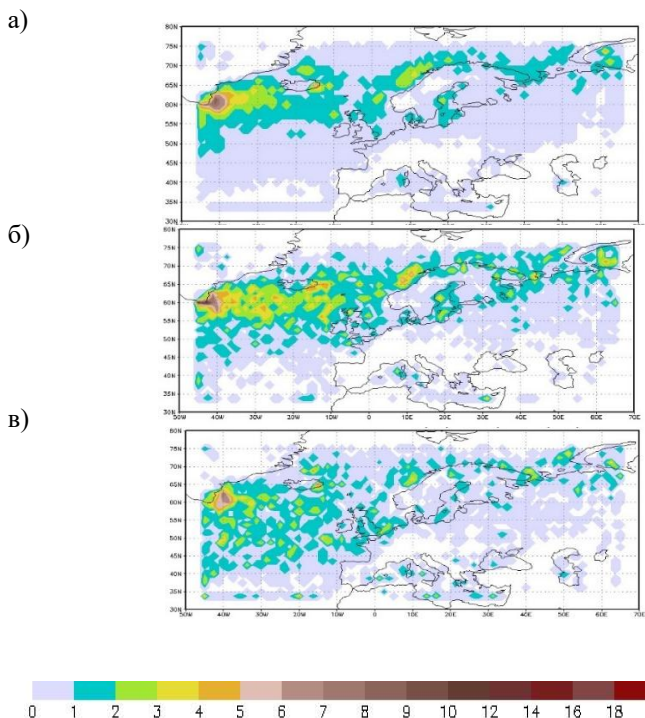


Рис. 1. Пространственное распределение средних многолетних значений количества центров циклонов в зимний сезон: а) для всего периода исследований; б) для лет с положительной фазой САК и положительной фазой ЕА (1989/90, 2013/14, 2019/20) , в) для лет с отрицательной фазой САК и отрицательной фазой ЕА (1984/85, 1995/96, 2005/06).

В годы развития отрицательной фазы САК на фоне интенсивной положительной фазы ВАК в районе Исландского минимума отмечается значительное ослабление и количества циклонов, и их интенсивности, в то же время на восточной акватории океана и на европейском континенте наблюдается усиление циклонической активности. При этом усиление активности циклонов в Европе может отмечаться как в умеренных, так и южных широтах. Значительное усиление циклонической активности в средиземноморском регионе в зимний сезон 2009-2010гг., и ее ослабление в районах Исландского минимума и Баренцева моря,

отмечено именно при интенсивных отрицательных значениях индекса NAO и интенсивных положительных значениях индекса EA [3].

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Hersbach et. al. The ERA5 global reanalysis // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2020, Vol.146, Is.730, pp.1999-2049.
2. Viazilova N. A. and Viazilov A E. On climatology of storm cyclones entering European region of Russia // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2020. Vol. 611, no 1. 012004.
3. Вязилова Н.А., Вязилов А.Е. Циклоническая активность в Северной Атлантике по данным реанализа ERA5 и колебания атмосферной циркуляции. Труды ВНИИГМИ-МЦД, 2023, Вып.191, с.99-110.

УДК 551.466

СРАВНЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО И НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПОДХОДОВ К ИССЛЕДОВАНИЮ ВРЕМЕННЫХ ТРЕНДОВ

Соколов А. Н.

*Балтийский федеральный университет им. И. Канта, 236041,
Калининград, ул. Александра Невского, 14, +7(4012)59-55-95,
ansokolov@kantiana.ru*

COMPARISON OF PARAMETRIC AND NONPARAMETRIC APPROACHES TO THE STUDY OF TIME TRENDS

Sokolov A.N.

*Immanuel Kant Baltic Federal University, 14, Alexandra Nevskokgo str.,
236041, Russia, ansokolov@kantiana.ru*

В статье проведен анализ временных серий среднегодовых значительных высот волн в Балтийском море. Показано, что соотношение численных значений статистических параметров временных рядов при параметрическом и непараметрическом подходах предсказать заранее невозможно.

The article analyzes time series of average annual significant wave heights in the Baltic Sea. It is shown that the ratio of numerical values of statistical parameters of time series in parametric and nonparametric approaches cannot be predicted in advance.

Ключевые слова: Балтийское море, значительная высота волны, временной тренд, регрессионный анализ, тест Манна-Кендалла.

Key words: Baltic Sea, significant wave height, time trend, regression analysis, Mann-Kendall test.

Статистический анализ временных трендов является важной задачей практически любого исследования зависимости физической величины той или иной природы от времени. *Параметрические* статистические методы требуют априорного знания функции распределения случайной величины. *Непараметрические* же методы могут быть применены к исследованию случайных величин, статистическое распределение которых заранее неизвестно. При исследовании временных рядов к параметрическим методам относится классический регрессионный анализ (см., например, [1]), а к непараметрическим – тест Манна-Кендалла для оценки наличия тренда [2, 3] и формула Сена для оценки величины коэффициента тренда [4].

Целью настоящего исследования является сравнение результатов анализа временных трендов среднегодовых значительных высот волн на Балтике за период с 1993-го по 2010-й годы, полученных параметрическим и непараметрическим методами. В основу исследования были положены проведенные автором модельные расчеты среднегодовых значительных высот волн в Балтийском море за период с 1979 по 2018 год [5, 6], см. рис. 1.

Расчеты показали, что участки роста и снижения среднегодовых значительных высот волн во всех выбранных контрольных точках на Балтике чередуются (см. врезки на рис. 1), поэтому исследовать весь модельный временной интервал 1979–2018 на наличие тренда нецелесообразно. Однако, на интервале 1993–2010 во всех выбранных контрольных точках наблюдается снижения высот волн и можно ожидать существование статистически значимого временного тренда. Кроме того, этот временной интервал является более продолжительным, чем периоды условного роста высоты волн до и после него, что важно для статистического исследования. Эти факторы и послужили выбору временного периода 1993–2010 для сравнения параметрического и непараметрического подходов.

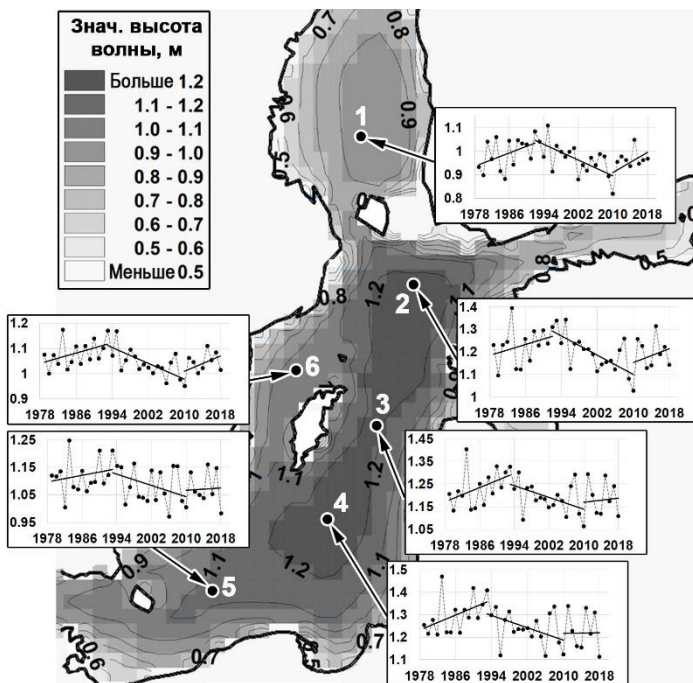


Рис. 1. Средние значительные высоты волн на Балтике по результатам численного моделирования с 1979-го по 2018-й год [5, 6]. Белыми цифрами выделены контрольные точки. На врезках – временные серии среднегодовых значительных высот волн и линейные аппроксимации для участков, которые можно считать условно монотонными.

Для статистической оценки надежности существования тренда, как в случае параметрического, так и в случае непараметрического подходов [1–3], используется величина, именуемая в англоязычной литературе "*p*-value". Чем она меньше, тем с большей вероятностью можно утверждать, что тренд существует. Так, например, если *p*-value = 0.1, вероятность существования тренда равна 90%, а если 0.01, то 99%. В таблице 1 представлены рассчитанные по параметрическому и непараметрическому подходам значения коэффициентов трендов (скоростей изменения среднегодовых значительных высот волн за период с 1993-го по 2010-й годы) и величины *p*-value, характеризующие их статистическую значимость.

Таблица 1. Скорости изменения среднегодовых значительных высот волн за период 1993–2010 (k) и статистические значимости трендов (p -value) в контрольных точках 1–6.

Точка	параметрический подход		непараметрический подход	
	k , мм/год	p -value	k , мм/год	p -value
1	–8,4	0,002	–8,6	0,004
2	–10,7	0,001	–12,9	0,002
3	–6,5	0,048	–9,5	0,058
4	–6,8	0,062	–8,3	0,069
5	–5,1	0,11	–4,2	0,058
6	–7,8	0,002	–7,6	0,006

В ходе исследования ожидалось выяснить, какой из методов является более "жестким" в плане выявления тренда и заметно ли различаются численные коэффициенты аппроксимирующих линейных зависимостей (коэффициенты тренда). Значения p -value, приведенные в табл. 1 показывают, что в большинстве случаев более "жестким" (величины p -value больше, а, следовательно, достоверность наличия тренда меньше) является непараметрический подход. Однако для точки 5 это правило не работает: вероятность существования тренда согласно непараметрическому подходу более 94%, в то время как согласно параметрическому только 89%. Что касается коэффициентов трендов, то в точках 1–4 они на 3–40% по абсолютной величине больше по непараметрическому подходу, чем по параметрическому, а в точках 5 и 6 – на 3–18% меньше. Следовательно, ни по уровню статистической значимости тренда, ни по величине коэффициента тренда нельзя заранее однозначно утверждать, какой из методов даст большую или меньшую числовую оценку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Draper, N.R., Smith, H. Applied Regression Analysis. 2nd Edition. New York: John Wiley & Sons. 1981. 709 pp.
2. Mann, H.B. Non-parametric test against trend. // *Econometrica*. 1945. Vol. 13. P. 245–259. doi: 10.2307/1907187
3. Kendall, M.G. Rank correlation methods. 4th Edition. London: Charles Griffin. 1975. 160 pp.
4. Sen, P.K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's TAU. // *Journal of the American Statistical Association*. 1968. Vol. 63. P. 1379–1389. doi: 10.1080/01621459.1968.10480934

5. Соколов, А.Н., Чубаренко, Б.В. Временная изменчивость параметров ветровых волн в Балтийском море за период 1979–2018 годов по результатам численного моделирования // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 4. С. 383–395. doi: 10.22449/0233-7584-2020-4-383-395.
6. Sokolov, A., Chubarenko, B. Baltic Sea wave climate in 1979–2018: Numerical modelling results. // Ocean Engineering. 2024. Vol. 297. 117088. doi: 10.1016/j.oceaneng.2024.117088

УДК 531.736

О ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ МОРСКОЙ ВОДЫ ПРИ НЕКОНТРОЛИРУЕМОЙ ОРИЕНТАЦИИ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ

Федотов Г.А.

*АО “Морские неакустические комплексы и системы”, Октябрьская
наб., 6, 193091, Санкт-Петербург
Тел.: +7(812)676-33-99, факс +7(812)676-32-52,
g.a.fedotov@outlook.com*

ON THE ERROR IN DETERMINING THE SEAWATER DENSITY AT THE UNCONTROLLED ORIENTATION OF THE HYDROSTATIC METER

FedotovG.A.

*JSC “Marine non-acoustic complexes and systems”,
6, Ocyabrskayaemb., Saint-Petersburg, 193091*

Представлены аналитические выражения и графики, иллюстрирующие зависимость погрешности определения плотности морской воды от ориентации гидростатического измерителя в пространстве и от конфигурации датчиков давления.

Analytical expressions and graphs illustrating the dependence of the error in determining the density of seawater on the orientation of the hydrostatic meter in space and on the configuration of pressure sensors are presented.

Ключевые слова: морская вода, плотность воды, измерение плотности, гидростатический измеритель.

Key words: seawater, water density, density measurement, hydrostatic meter.

Статья обобщает полученные ранее результаты автора [1,2,3], являющиеся развитием идеи, изложенной в статье [4]. Некоторые варианты практической реализации предложенного в [1-4] способа измерения плотности морской воды описаны в патенте [5].

Метод позволяет определить величину $G \equiv |\text{grad}P|$ (модуль вектора градиента гидростатического давления), а следовательно, и искомую плотность: $\rho = G/g$ (где \vec{g} - вектор ускорения свободного падения) путём совместной обработки сигналов P_i ($i = 0,1,2,3$) четырёх датчиков давления.

Рассмотрен измеритель, образованный четырьмя датчиками давления, расположенными в вершинах правильной треугольной пирамиды (рис.1) с длиной бокового ребра l и углом при вершине α . $b_i = (P_i - P_0)/l$, $c \equiv \cos \alpha$. Пусть погрешность величины b_i равна Δb . Тогда для погрешности определения величины G имеем соотношение $\Delta G = F(\varphi)\Delta b$, где функция $F(\varphi)$ приведена в [1,3].

В качестве источника ошибки определения ρ рассмотрена величина ΔG . Пусть угол наклона системы φ (рис.1, слева) изменяется неконтролируемым образом, но плотность распределения угла наклона $w(\varphi)$ известна. Примем для оценок, что $w(\varphi) = \cos(\varphi - \varphi_{00}) / (2 \sin \varphi_0)$, если $\varphi_{00} - \varphi_0 < \varphi < \varphi_{00} + \varphi_0$ и $w(\varphi) = 0$ при остальных φ (рис.1, справа).

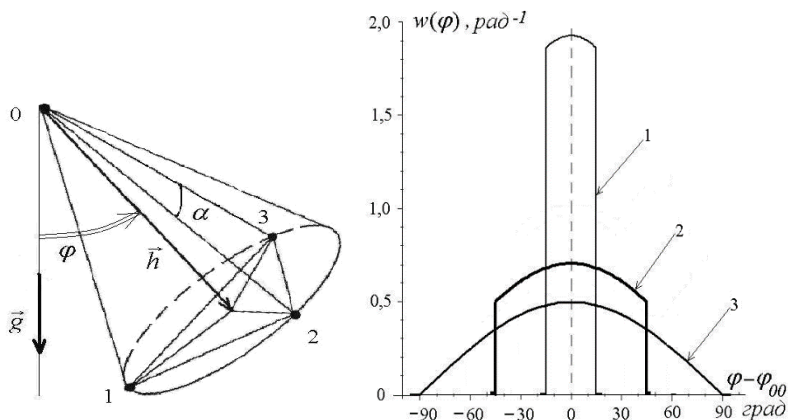


Рис. 1. Слева: наклонная ориентация гидростатического измерителя в поле силы тяжести. Справа: графики $w(\varphi)$ для трёх значений φ_0 :

$$1 - \varphi_0 = 15^\circ; \quad 2 - \varphi_0 = 45^\circ; \quad 3 - \varphi_0 = 90^\circ.$$

Погрешность величины G характеризуется функцией $\Phi(\alpha)$:

$$\Phi(\alpha) = \frac{\langle \Delta G \rangle}{\Delta b} = \int_{-\pi}^{\pi} F(\varphi) w(\varphi) d\varphi = \begin{cases} \Phi_1(\alpha); & 0 < \alpha \leq 90^\circ; \\ \Phi_2(\alpha); & 90^\circ \leq \alpha < 120^\circ. \end{cases}$$

Для $\varphi_{00} = 90^\circ$ справедливы следующие выражения [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi_1(\alpha) = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1+2c}} \sqrt{1 + \frac{3c}{1-c} \cos^2 \varphi_0} + \frac{1}{\sin \varphi_0} \sqrt{\frac{1+2c}{3c(1-c)}} \arcsin \left(\sqrt{\frac{3c}{1+2c}} \sin \varphi_0 \right) \right]; \\ \Phi_2(\alpha) = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1+2c}} \sqrt{1 + \frac{3c}{1-c} \cos^2 \varphi_0} + \frac{1}{2 \sin \varphi_0} \sqrt{\frac{1+2c}{-3c(1-c)}} \cdot \ln \frac{\sqrt{1-c+3c \cos^2 \varphi_0} + \sqrt{-3c} \sin \varphi_0}{\sqrt{1-c+3c \cos^2 \varphi_0} - \sqrt{-3c} \sin \varphi_0} \right]. \end{array} \right.$$

Аналогичные выражения для $\varphi_{00} = 0$ и $\varphi_{00} = 45^\circ$ приведены в [1] и [3]. Зависимости $\Phi(\alpha)$ наглядно представлены на рис.2.

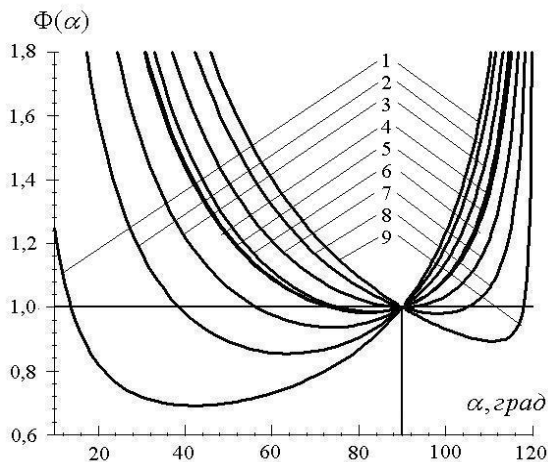


Рис. 2. Графики функций $\Phi(\alpha)$ для различных значений φ_{00} и φ_0 .
Пояснения в тексте.

Нумерация графиков соответствует следующим значениям углов:
 $1,2,3 - \varphi_{00} = 0^\circ$; $4,5,6 - \varphi_{00} = 45^\circ$; $7,8,9 - \varphi_{00} = 90^\circ$;
 $1,4,7 - \varphi_0 = 15^\circ$; $2,5,8 - \varphi_0 = 45^\circ$; $3,6,9 - \varphi_0 = 90^\circ$.

Представленные результаты могут служить основой рационального выбора ориентации гидростатического измерителя для подводных исследований в поле силы тяжести, а также конфигурации датчиков давления, образующих измеритель, в широком диапазоне его возможных ориентаций и конфигураций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федотов, Г. А. Оценка точности определения плотности морской воды при неконтролируемой ориентации гидростатического измерителя / Г. А. Федотов // Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики: Труды XIV Всероссийской конференции, Санкт-Петербург, 23–25 мая 2018 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук, 2018. – С. 275-277.
2. Федотов, Г. А. Оценка погрешности определения плотности морской среды с помощью гидростатического метода при

неконтролируемой ориентации измерителя/ Г. А. Федотов // Сборник материалов 18-й Международной научно-технической конференции “Современные методы и средства океанологических исследований” (МСОИ-2023). Т.2, с. 144-148. – Москва, 2023. Изд-во Института океанологии РАН.

3. Федотов, Г. А. О точности определения плотности морской среды при частично неконтролируемой ориентации гидростатического измерителя/ Г. А. Федотов // Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики: труды Всероссийской конференции. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 465 с. С.230-232.
4. Федотов, Г. А. Новая модификация гидростатического метода определения плотности морской воды / Г. А. Федотов // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2013. – Т. 6. – № 1. – С. 58-65.
5. Гусев, Л. Б., Федотов, Г. А. Патент № 2747854 С2 Российская Федерация, МПК G01N 9/26. Способ измерения плотности морской воды с подвижного носителя гидрофизической аппаратуры: № 2020116797 : заявл. 18.05.2020 : опубл. 17.05.2021 / Л. Б. Гусев, Г. А. Федотов.

УДК 551.55

ТУРБУЛЕНТНЫЙ ОБМЕН АТМОСФЕРЫ И ПОВЕРХНОСТИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ

Зорин А.М.

*Балтийский федеральный университет им. И. Канта,
236016, Калининград, ул. А. Невского, д.14, 8(4012)59-55-95
azorin1105@gmail.com*

ATMOSPHERIC AND SURFACE TURBULENT EXCHANGE IN THE COASTAL ZONE

Zorin A.M.

*Immanuel Kant Baltic Federal University,
14, A. Nevskogo Str, Kaliningrad, 236016*

В работе рассмотрены первичные результаты вычисления потоков тепла и импульса в период с июля 2023 по июль 2024 года. Расчёты выполнены на основе данных, собранных с помощью трехмерного анемометра, установленного на метеорологической мачте в Калининградской области.

The paper considers the primary results of heat and momentum flux calculations for the period from July 2023 to July 2024. The calculations are based on data collected using a three-dimensional anemometer installed on a meteorological mast in the Kaliningrad region.

Ключевые слова: Юго-Восточная Балтика, взаимодействие атмосфера-море-суша, атмосферная турбулентность.

Key words: Southeast Baltic Sea, atmosphere-sea-land interaction, atmospheric turbulence.

Математическое описание турбулентных процессов в пограничном слое атмосферы является важной составляющей успешного решения задач численного прогноза её динамики. Эти процессы играют основную роль в обмене энергией и массой между атмосферой и поверхностью. [1]

В июле 2023 года, на территории базы учебных и научных практик БФУ им. И. Канта в поселке Рыбное Калининградской области, начала активную работу и сбор высокочастотных данных метеорологическая мачта Carl S. A/S. На мачте, на высоте 36 метров, расположен акустический трехмерный анемометр uSonic-3 OMNI HTn производства Metek. Данный прибор измеряет три компоненты скорости ветра и акустическую температуру с частотой 20 Гц и точностью 0.1 м/с и 0.1°C.

Перед вычислением направления и скорости ветра, а также потоков тепла и импульса, данные проходят первичную обработку. Изначально данные приводятся к общему виду, после чего фильтруются пиковые значения, отклонение от среднего которых превышает три стандартных отклонения за тридцатиминутный период осреднения. Далее восстанавливаются пропущенные данные, при помощи линейной интерполяции данных. Финальным этапом являются вычисление средних за 30 минут значений искомых параметров. [2]

Ниже представлены результаты первичной обработки массива данных, собранных в период с 08 июля 2023 года по 07 июля 2024 года.

На рис. 1 приведена роза ветров за исследуемый период. На побережье Балтийского моря преобладает западный и юго-восточный ветер.

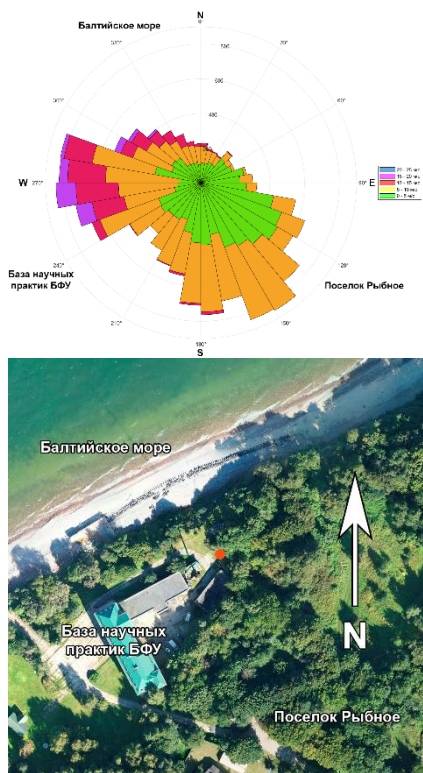


Рис. 1. Роза ветров метеорологической мачты в поселке Рыбное Калининградской области в период с 8 июля 2023 по 7 июля 2024.

На рис. 2 представлен график потока тепла в измеряемый период. Среднее значение составило -8.8120 . Пиковые значения достигались 17 мая 2024 года в 9:30 и 04 апреля 2024 года в 10:30 и составили соответственно 168.5893 и -219.7235 . На рис. 3 представлен график потока тепла в период с 14 по 20 мая 2024 года

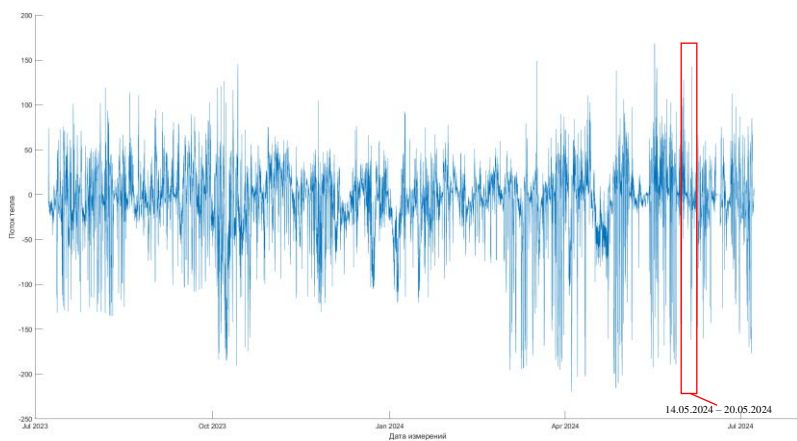


Рис. 2. Поток тепла в период с 8 июля 2023 по 7 июля 2024.

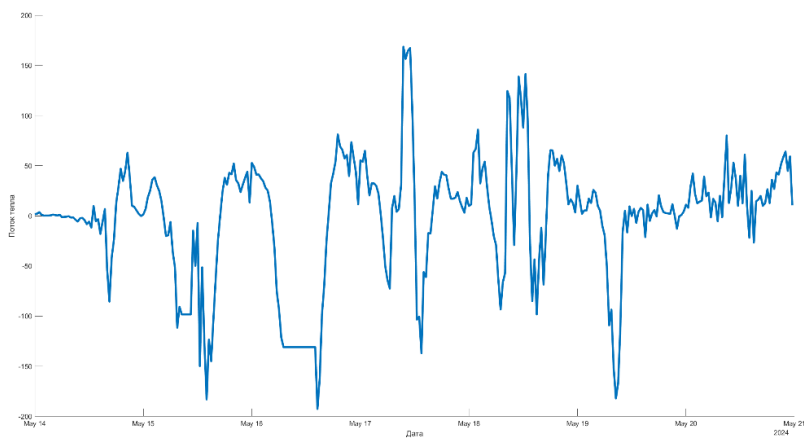


Рис. 3. Поток тепла в период с 14 мая 2024 по 20 мая 2024.

На рис. 4 представлен график потока импульса в измеряемый период. Среднее значение составило -0.0036 . Пиковые значения достигались 20 октября 2023 года в 7:80 и 13 октября 2023 года в 20:30 и составили соответственно 2.0466 и -2.3042 .

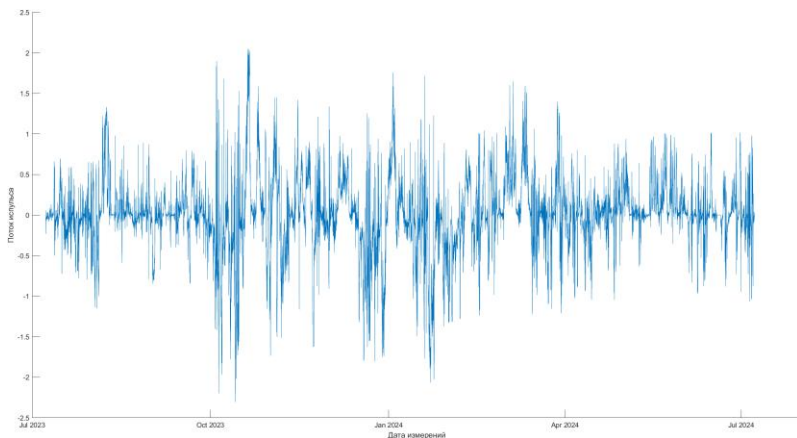


Рис. 4. Поток импульса в период с 8 июля 2023 по 7 июля 2024.

Таким образом установленная в поселке Рыбное метеорологическая мачта, является перспективным современным высокочастотным инструментом. Данная мачта производит измерения, которые позволяют покрывать большой пласт для разностороннего исследования физики атмосферы в условиях контактной зоны суша-море.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дрозд И.Д., Артамонов А.Ю., Барсков К.В., Гавриков А.В., Пашкин А.Д., Репина И.А., Степаненко В.М. Соотношение вторых и третьих турбулентных моментов в городском пограничном слое атмосферы на примере данных микрометеорологической мачты МГУ // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2023. Т. 59, № 4. С. 1–14.
2. Репина И. А. Методы определения турбулентных потоков над морской поверхностью // ИКИ РАН. - 2007. - С. 36.

УДК 504.454 (282.247.29)

**ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ ПРОНИКНОВЕНИЕ СОЛОНОВАТЫХ ВОД
В РЕКУ ПРЕГОЛЮ (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ БАЛТИКА) В
РЕЗУЛЬТАТЕ ДЕЙСТВИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО (НАГОННОГО)
МЕХАНИЗМА**

Двоеглазова Н. В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997, Москва, Нахимовский пр., 36, 8 (911) 466-10-
59, nadya2eyes@mail.ru*

**EXTREME PENETRATION OF BRACKISH WATER INTO THE
PREGOLYA RIVER (SOUTH-EASTERN BALTIC) AS A RESULT OF
THE ACTION OF A DYNAMIC (SURGED) MECHANISM**

Dvoeglazova N.V.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of
Sciences, 36, Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia.*

Вертикальные СТД-зондирования, выполненные с пространственным охватом устьевой области реки Преголи и ежедневно в контрольной точке, показали, что экстремальное проникновение солоноватых вод в устьевую область в октябре 2023 г. осуществлялось под действием динамического (нагонно-адвективного) механизма.

Vertical CTD soundings carried out with spatial coverage of the mouth area of the Pregolya River and daily at the control station indicate that the extremely deep penetration of brackish waters in the mouth area in October 2023 was carried out under the action of a dynamic (surge-advection) mechanism.

Ключевые слова: интрузии солоноватых вод, гидрологические свойства, эстуарии, СТД-зондирование, река Преголя.

Key words: brackish water intrusions, hydrological properties, estuary, CTD-probing, Pregolya River.

Устьевая область реки Преголи состоит из устьевого взморья - Калининградского залива и Калининградского морского канала [1] (протяжённость от моря до устья реки 35 (43) км) (рис. 1). Расположение устьевой зоны смешения внутри устьевой области реки

мигрирует в зависимости от сезона и текущего баланса между стоком речных вод и подпором со стороны вод залива [2], но во время периода экстремальных нагонов 2023 г. она продвинулась далеко вверх по реке, и сопровождалась случаями перекрытия водоснабжения [3].

Проникновению солоноватых вод вглубь реки способствует два типа механизма [4; 5]: градиентный (интрузионно-адвективный) механизм, обеспечивающий проникновение солоноватых вод только в придонных слоях и приводящий к формированию солёностной (и плотностной) стратификации в устьевой зоне смешения; и динамический (нагонно-адвективный) механизм, обеспечивающий хорошо вертикально перемешанное распределение солёности по глубине при активном воздействии нагонного ветра.

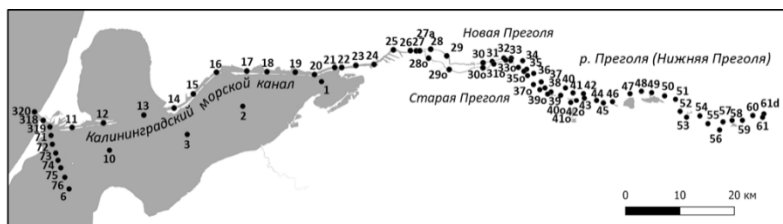


Рис. 1 Расположение станций гидрологических зондирований в пределах устьевое участка рукава Нижняя Преголя (протоки Новая и Старая Преголя).

Для оценки, какой механизм проникновения солоноватых вод реализовывался во время события штормового нагона в октябре 2023 г., были обобщены данные гидрологических разрезов (рис 2а,б) вдоль русла рук. Нижняя Преголя (протоки Старая и Новая Преголя), собранные с использованием зонда «Idronaut Ocean Seven 316Plus Multiparameter Probe» [6].

Во время первой съемки 9 октября 2023 г. область покрытия вертикальными зондированиями оказалась недостаточной (рис. 2а), зона смешения простиралась дальше по руслу и дальность её проникновения вверх по реке (определяемая по изогалине 1 psu) не была зафиксирована. Исходя из результатов измерений 16 октября 2023 г. можно предположить, что 9 октября при схожих условиях (гидрологическая структура, значения уровня и ветровые условия) изогалина 1 psu могла достигать станций 50-52 (рис. 1).

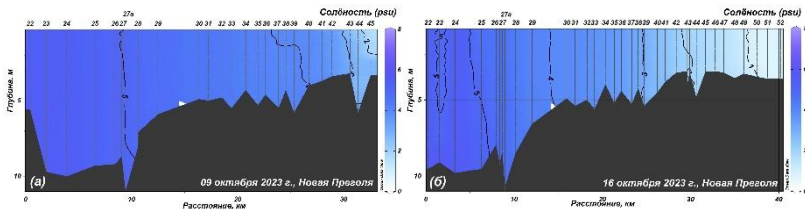


Рис. 2 Вертикальные разрезы в поле солёности для устьевой зоны смещения от устья рукава Нижней Преголи (ст. 22) до станции 52 (пос. Сокольники) 09 октября (а) и 16 октября (б) 2023 г.

Второй день наблюдений 10 октября 2023 г. – характеризовался меньшей дальностью проникновения солоноватых вод за счёт уменьшения силы ветра и понижения уровня воды. В условиях резкого снижения порывов ветра с 18 м/с до <8 м/с 7-8 октября, а также понижения уровня воды с 90 до 20 см (8-12 октября), верхняя граница устьевой зоны смещения с 9 по 10 октября сдвинулась вниз по течению не менее, чем на 9-10 км (рис. 2а). При повторном экстремуме в значениях уровня и ветра 16 октября солоноватые воды достигли станций 49-51.

Выраженный фронтальный раздел в пределах зоны смещения отсутствовал, фронтальная подзона была растянута до 35 км (ст. 27-51). Разница между дальностью проникновения изогалины 1 psu на поверхности и у дна была менее 1 км при общей длине рассматриваемого участка 40 км (от устья до ст 51).

Полное перемешивание характеризовалась коэффициентом стратификации менее 0.1 почти на всех точках измерений (ст. 22-42). Лишь на последних километрах разреза в районе верхней границы устьевой зоны смещения можно было наблюдать наличие стратификации: 9 октября на станциях 43-45 значения составляли 0.1-0.65, 10 октября на станциях 40 и 42-45 наблюдалась умеренная стратификация (0.1-0.75).

Поскольку проникновение солоноватых вод вверх по реке Преголе (9-27 октября 2023 г.) сопровождалось активным вертикальным перемешиванием и происходило на фоне подъёма уровня воды, то, очевидно, что во время этого события реализовался динамический механизм проникновения солоноватых вод за счет экстремального воздействия продолжительных ветров западных направлений. Причём, дальность проникновения речной границы зоны смещения (40 км от устья) была максимальной среди инструментально зафиксированных случаев [5, 7].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-44-20027 с целью оценки экстремальных значений пространственного простираения зоны смешения, как области накопления частиц микропластика. В работе использованы архивные данные АО ИО РАН. Автор благодарит Чубаренко Б.В. за помощь в проведении работ и полезные замечания при подготовке рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маркова Л.Л., Нечай И.Я. Гидрологический очерк устьевых областей рек Немана и Преголи. // М.: Труды ГОИН. - 1960. - Вып.49. - С.118—157.
2. Chubarenko B., Domnin D., Navrotskaya S. et al. Transboundary Lagoons of the Baltic Sea // R. Kosyan (ed.) The Diversity of Russian Estuaries and Lagoons Exposed to Human Influence. Switzerland: Springer Verlag, - 2017. - P. 149–191. https://doi.org/10.1007/978-3-319-43392-9_6.
3. Двоглазова Н.В., Чубаренко Б.В. Изменения в структуре гидрологических характеристик устьевой зоны смешения реки Преголи (Юго-Восточная Балтика) в период осеннего осолонения // Гидрометеорология и экология. - 2024. - №74. - С. 87–104. <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2024-74-87-104>.
4. Демиденко Н.А., Лупачев Ю.В. «Исследование проникновения морских соленых вод в устья рек Онега, Северная Двина, Мезень и Печора» // Научно-технический отчет. - М.: ФГБУ «ГОИН», 2011. - 72 с.
5. Чубаренко Б.В., Шкуренко В.И. Физические механизмы проникновения соленых вод вверх по реке Преголе с учетом влияния рельефа дна // Физические проблемы экологии (экологическая физика). - 2001. - № 7. - С. 80–88.
6. Чубаренко Б.В., Двоглазова Н.В., Боскачѳв Р.В., Шушарин А.В. Пространственно-временная изменчивость гидрологических характеристик в зоне смешения реки Преголи (Юго-Восточная Балтика) и методические подходы к ее изучению // Океанологические исследования. - 2024. - № 52 (1). - С. 157–176. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2024.52\(1\).8](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2024.52(1).8).
7. Домнин Д. А., Соколов А. Н. Особенности и закономерности затока солоноватых масс в лагунно-эстуарной системе Калининградский залив – Преголя – Куршский залив посредством данных контактных измерений и моделирования // Известия КГТУ. - 2014. - № 35. - С. 11–20.

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ
ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
МОРСКОЙ ВОДЫ**

Буланов А.В.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г.
Владивосток, 8(423)231-14-00
pacdic@poi.dvo.ru*

**AUTOMATED COMPLEX FOR STUDYING THE SPECTRAL
CHARACTERISTICS OF SEAWATER**

Bulanov A.V.

*V.I. Il'chev Pacific Oceanological Institute, 43, Baltiyskaya, Vladivostok,
690041, Russia.*

В статье рассматривается предложенный метод распознавания сложных спектральных характеристик с помощью ИНС в реальном времени открывает возможности для оценки экологического состояния морских акваторий in-situ. Разработанный комплекс и методика имеют большое значение для понимания изменений состава и свойств морской воды, а также для изучения экологических процессов, происходящих в различных регионах Мирового океана.

The article discusses the proposed method for recognizing complex spectral characteristics using ANN in real time, which opens up opportunities for assessing the ecological state of marine areas in situ. The developed complex and methodology are of great importance for understanding changes in the composition and properties of seawater, as well as for studying environmental processes occurring in various regions of the World Ocean.

Ключевые слова: лазерно-искровая спектроскопия, ультразвук, оптическая кавитация, спектральные линии, искусственные нейронные сети

Key words: laser -induced breakdown spectroscopy, ultrasound, optical cavitation, spectral lines, artificial neural networks

Разработан автоматизированный проточный комплекс для исследования спектральных оптических и гидрофизических

параметров верхнего слоя Мирового океана. Комплекс обеспечивает непрерывную регистрацию данных вдоль траектории судна, позволяя изучать изменчивость структуры морской среды при пересечении различных водных масс.

Специально разработанный искровой комплекс [1] использовался для регистрации оптических данных. Для обработки и визуализации спектральных данных лазерного пробоя была разработана программа на языке Python. Входными данными для программы служат *.csv файлы изображений спектров пробоя, полученные с контроллера STM32 и переданные на микрокомпьютер. Программа позволяет задавать длину волны монохроматора и проводить обработку файлов по папкам с различными параметрами измерения (экспозиция, задержка и т.д.). Встроенные аналитические алгоритмы (усреднение, поиск пиков) позволяют получить спектр пробоя с выделенными спектральными линиями химических элементов, например, натрия и кальция, при оптическом пробое аэрозоля морской воды, созданного с помощью ультразвука. Одновременно с оптическими измерениями, данные о гидрофизических характеристиках верхнего слоя моря регистрировались с помощью термосоленографа SBE-45. Данные по температуре, проводимости и солёности передавались через последовательный порт на микрокомпьютер. Для учета влияния атмосферных факторов, использовались данные с датчиков, регистрирующих состояние поверхности океана, атмосферы и ветра [1]. Все данные, включая гидрофизические и метеорологические, обрабатывались и записывались в реальном времени в базу данных influxdb, визуализировались через веб-интерфейс, а затем объединялись и сохранялись в формате netCDF для дальнейшего анализа с использованием программ ODV, Matlab и др.

В рамках развития ЛИС спектроскопии, помимо экспериментальных методов повышения чувствительности, удалось решить проблему обработки больших объемов данных в реальном времени. Традиционные методы анализа спектров оптического пробоя, требующие детальной проработки, являются трудоемкими. Использование современных нейросетевых технологий и алгоритмов машинного обучения открывает возможности для автоматизации и повышения точности обработки данных, что позволит получать более полную информацию о спектре и свойствах вещества посредством точной классификации, регрессии и кластеризации.

Для повышения чувствительности метода ЛИС был разработан метод анализа сигналов пробоя с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС). Этот метод был успешно применен для

оценки вклада органического и неорганического углерода на карбоновом полигоне [1]. Модель ИНС, реализованная на Python с использованием TensorFlowTM, была обучена с помощью алгоритма обратного распространения. Развитие исследований лазерного пробоя привело к формулированию принципов создания комбинированного метода ультразвуковой лазерной искровой спектроскопии. На основе этих принципов был создан компактный автоматизированный проточный комплекс для изучения оптических и гидрофизических характеристик верхнего слоя моря. Комплекс успешно прошел испытания в экспедиционных условиях в Японском море, Атлантическом океане и в плюме реки Амазонки [2], в Тихом океане (во время 72 рейса «Академик Опарин» в июле 2024 г.), где были получены данные с высоким пространственным разрешением. Кроме того, продемонстрировано успешное применение ИНС для анализа углерода в морской воде, что позволило частично компенсировать матричные эффекты и самопоглощение, а также повысить чувствительность метода ЛИС [2].

Предложенный метод распознавания сложных спектральных характеристик с помощью ИНС в реальном времени открывает возможности для оценки экологического состояния морских акваторий in-situ. Разработанный комплекс и методика имеют большое значение для понимания изменений состава и свойств морской воды, а также для изучения экологических процессов, происходящих в различных регионах Мирового океана. Полученные данные способствуют улучшению нашего понимания динамики морских экосистем.

Работа выполнена в рамках госзадания, рег. № 124042300003-5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буланов, А. В., В. А. Крикун. «О возможности элементарного анализа в задачах мониторинга морских акваторий с применением ультразвуковой искровой спектроскопии». Доклады российской академии наук. Науки о Земле 513, вып. 2 (2023 г.): 95–101.
2. Буланов А.В. «Возможность распознавания сложных спектральных характеристик оптического пробоя с использованием нейронных сетей». Письма в журнал технической физики 50, вып. 2 (2024 г.). С. 10-12.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕКТРОВ ПОКАЗАТЕЛЯ РАССЕЯНИЯ НАЗАД ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЦВЕТЕНИЙ ФИТОПЛАНКТОНА

Павлова М.А.^{1,2}, Глуховец Д.И.^{1,2}, Артемьев В.А.¹

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
pavlova.ma@ocean.ru*

² *Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет),
Институтский переулок, д.9, 141701, г. Долгопрудный,
Московская область, 8(495)408-45-54*

USING BACKSCATTERING COEFFICIENT SPECTRA FOR DETECTING PHYTOPLANKTON BLOOMS

Pavlova M.A.^{1,2}, Glukhovets D.I.^{1,2}, Artemiev V.A.¹

¹ *Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of
Sciences, Nakhimovsky ave., 36, 117997, Moscow,
8(499)124-13-01*

² *Moscow Institute of Physics and Technology (National
Research University), Institutsky Lane, 9, 141701,
Dolgoprudny, 8(495)408-45-54*

В работе представлены результаты расчетов показателя рассеяния назад по данным натурных измерений коэффициента яркости моря и показателя поглощения света морской водой. Показана возможность применения используемого подхода для регистрации цветений фитопланктона в толще морской воды.

The paper presents the results of the backscattering coefficient calculations based on field measurements of remote sensing reflectance and seawater absorption coefficient. The possibility of applying the approach used to register phytoplankton blooms in the sea water column is shown.

Ключевые слова: показатель рассеяния назад, показатель поглощения, коэффициент яркости моря, Баренцево и Карское моря

В работе представлены результаты экспедиционных исследований гидрооптических характеристик морской воды, выполненных в 95-ом рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Баренцевом и Карском морях в июне-июле 2024 года. По значениям коэффициента яркости моря $R_{rs}(\lambda)$ и показателя поглощения света морской водой $a(\lambda)$, измеренным палубным спектро радиометром [1] и интегрирующей сферой на пробах воды из поверхностного слоя [2, 3] соответственно, получены спектры показателя рассеяния назад частицами взвеси $b_{bp}(\lambda)$. Расчеты проводились по формулам из работы [4]. Для анализа результатов расчетов использовались данные о вертикальных распределениях показателя ослабления света морской водой $c(530)$ и интенсивности флуоресценции Flu , измеренные с помощью зондирующего прозрачномера ПУМ-200 [5].

На рис. 1 представлен пример для станции №7959 (76°00.15 с.ш., 54°30.24 в.д.) в Баренцевом море. Слева приведены входные параметры для расчета: коэффициент яркости моря и показатель поглощения света морской водой. Справа показаны рассчитанный и полученный с помощью моделирования на основе измеренной концентрации хлорофилла [6] спектры показателя рассеяния назад частицами взвеси.

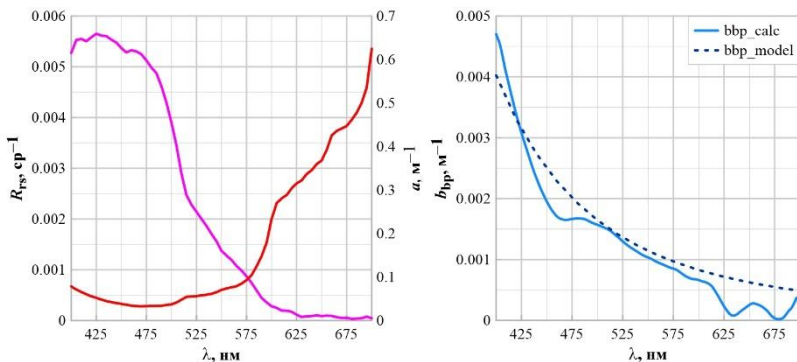


Рис. 1. Слева входные параметры расчета: коэффициент яркости моря и показатель поглощения света морской водой. Справа результат расчета (сплошная линия) и моделирования (пунктирная линия) показателя рассеяния назад частицами взвеси. Станция № 7959 (76°00.15 с.ш., 54°30.24 в.д.), 26.06.2024, Баренцево море.

Причина различий результатов расчета $b_{bp}(\lambda)$ с данными

моделирования частично связана с влиянием стратификации биооптических характеристик. Сигнал, регистрируемый палубным спектро радиометром, формируется в подповерхностном слое морской воды (в исследованных акваториях его толщина составляет около 10-30 м). При достаточном содержании фитопланктона и благоприятных условиях освещения в измеряемую яркость выходящего из водной толщи излучения может вносить вклад сигнал флуоресценции хлорофилла *a* (Хл). Спектральные значения рассчитанного $b_{bp}(\lambda)$ могут давать информацию об особенностях стратификации подповерхностного слоя. Для демонстрации этого эффекта используем вертикальные профили показателя ослабления света морской водой и флуоресценции хлорофилла, дающие информацию о стратификации биооптических характеристик. На рис. 2 представлен пример рассчитанного $b_{bp}(\lambda)$ и вертикальных профилей, полученных с помощью прозрачномера ПУМ-200, на станции № 7965 (78°16.72 с.ш., 71°59.84 в.д.) с цветением фитопланктона в толще морской воды.

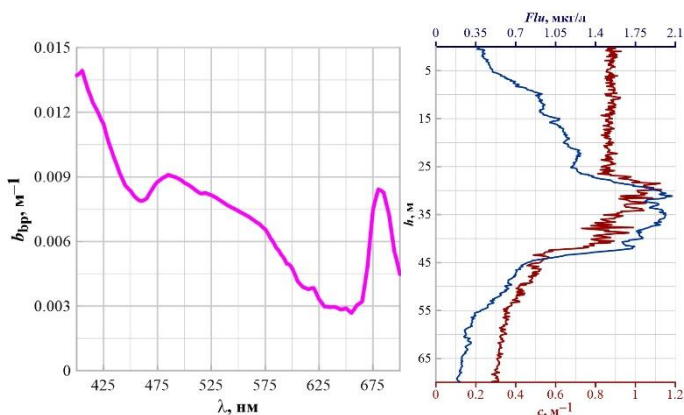


Рис. 2. Слева рассчитанный показатель рассеяния назад частицами взвеси. Справа измеренные показатель ослабления света морской водой и флуоресценция. Станция № 7965 (78°16.72 с.ш., 71°59.84 в.д.), 01.07.2024, Карское море.

Анализ данных о вертикальном распределении гидрооптических характеристик показал, что зарегистрированная на этой станции в области 680 нм спектральная особенность значений $b_{bp}(\lambda)$ связана с вкладом в значения коэффициента яркости моря сигнала солнечно индуцированной флуоресценции Хл. Этот вклад поступает из слоя с повышенным содержанием фитопланктона на глубинах 30-40 м.

При этом содержание фитопланктона в поверхностном слое, данные о поглощении в котором использовались для расчёта $b_{bp}(\lambda)$, значительно ниже. Зарегистрированный эффект позволяет использовать результаты описанных выше расчетов спектров показателя рассеяния назад для обнаружения цветений фитопланктона в толще морской воды без проведения трудоемких зондирующих гидрооптических измерений, требующих времени на проведение заборных работ. Применение представленного подхода на ходу судна может быть использовано для планирования маршрута экспедиции и выбора положения станций.

Авторы благодарят С.В. Шеберстова и С.В. Вазюля за полезные обсуждения и А.Б. Демидова за предоставление данных о концентрации хлорофилла.

Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН по теме № FMWE-2024-0015.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Pavlova M.A., Glukhovets D.I., Volodin V.D. Deck Spectroradiometer for Measuring Remote Sensing Reflectance // *Oceanology*. 2023. V. 63. S. 1. P. 228–237.
2. Погосян С.И., Дургарян А.М., Конохов И.В., Чикунова О.Б., Мерзляк М.Н. Абсорбционная спектроскопия микроводорослей цианобактерий и растворенного органического вещества: измерения во внутренней полости интегрирующей сферы // *Океанология*. 2009. Т. 49. № 6. С. 934–939.
3. Глуховец Д.И., Шеберстов С.В., Копелевич О.В., Зайцева А.Ф., Погосян С.И. Измерения показателя поглощения морской воды с помощью интегрирующей сферы // *Светотехника*. 2017. № 5. С. 39–43.
4. Gordon H.R., Brown O.B., Evans R.H., Brown J.W., Smith R.C., Baker K.S., Clark D.K. A semianalytic radiance model of ocean color // *Journal of Geophysical Research*. 1988. V. 93. № D9. P. 10909-10924.
5. Артемьев В.А., Таскаев В.Р., Григорьев А.В. Автономный прозрачномер ПУМ-200 // *Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2021)*. Материалы XVII всероссийской научно-технической конференции. 2021. Т. 1. С. 95–99.
6. Gordon H.R., Morel A. Remote Assessment of Ocean Color for Interpretation of Satellite Visible Imagery: A Review. *Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies* // Springer-Verlag. 1983. V. 4.

**ПРИМЕНЕНИЕ
ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ
ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР НА
СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА**

Гаревских Г.П., Липинская Н.А., Салюк П.А.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.
Ильичева ДВО РАН, 690041, Россия, г. Владивосток,
ул. Балтийская, д. 43*

**APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS
FOR DETECTING EDDIES IN SATELLITE IMAGES OF
THE VISIBLE SPECTRUM**

Garevskikh G.P., Lipinskaya N.A., Salyuk P.A.

*Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch,
Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, 690041 Russia*

Работа посвящена автоматизации анализа спутниковых изображений с использованием искусственной нейронной сети для распознавания вихревых структур. В результате был сформирован массив данных о траекториях и повторяемости вихрей в северо-западной части Японского моря.

The article is about the automated analysis of detecting eddy structures from satellite imagery using artificial neural networks. As a result, a dataset was formed on the trajectories and recurrence of eddies in the northwestern part of the Sea of Japan.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, искусственные нейронные сети, вихри, цвет моря, детектирование.

Key words: remote sensing, artificial neural networks, vortices, sea color, detection.

Обучение проводилось на спутниковых данных второго уровня обработки геостационарного сканера GOCI-COMS-1, в полях концентрации хлорофилла-а с разрешением 500 м, прошедшие стандартную атмосферную коррекцию центра KOSC для северо-

западной части Японского моря.

Алгоритм обработки включал четыре стадии: аннотирование исходных изображений, подготовку тренировочных данных с трансформацией для выделения вихрей, обучение сети и поиск вихрей на всех снимках. Аннотирование выполнялось с помощью инструмента CVAT (Computer Vision Annotation Tool), который широко используется в задачах компьютерного зрения, включая обнаружение объектов и сегментацию.

В работе была применена предобученная модель YOLO, основанная на библиотеке PyTorch. Использование конфигурации «S» обеспечивало достаточную скорость обучения при минимизации переобучения и поддержании приемлемой точности. YOLO была выбрана благодаря своей динамичной адаптации в открытом сообществе, что делает её эффективным инструментом для классификации изображений [1]. Создание собственной нейронной сети дало бы аналогичные результаты, однако с риском скрытых погрешностей.

В ходе подготовки данных был сформирован массив из примерно 200 изображений, в котором были выделены области, предполагающие наличие вихрей. Аннотирование проводилось с одним классом объектов – вихрь (eddy). Массив был разделен на 20 тестовых изображений, 20 валидационных и остальные для обучения. Такой подход обусловлен ограниченной выборкой, поскольку для надежного обучения нужны гораздо более крупные наборы данных. Однако образ вихря на спутниковых снимках имеет простую геометрическую фигуру – эллипсоид с окружением в виде спирали, что облегчает процесс обучения.

Для повышения качества аннотаций были применены различные цветовые преобразования, включая оттенки серого, негатив, градиенты Лапласа, Собеля и Кенни, а также морфологический градиент и адаптивное гистограммное выравнивание. Наиболее заметное улучшение воспринимаемости было достигнуто с использованием оттенков серого и градиента Собеля. Эти преобразования использовались для обучения наряду с оригинальными изображениями. Методы трансформации изображений были созданы на базе библиотеки OpenCV. Перед запуском обучения устанавливались параметры преобразования, после чего начинался процесс обучения.

Обучение для каждого массива (оригинального и трансформированного) длилось от 170 до 210 эпох, каждая из которых занимала от 300 до 500 секунд. Этого количества эпох было

достаточно для минимизации эмпирического риска при сопоставимости метрик валидации и обучения [2].

После завершения процесса сеть продемонстрировала точность 60%-65% на тестовых данных (рис.1).

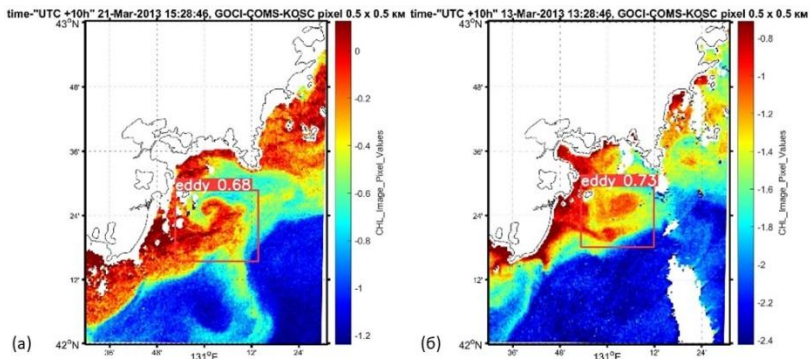


Рис. 1 – Обнаруженная нейросетью вихревая структура на спутниковом снимке (а) за 21 марта 2013 г., с точностью обнаружения 0.68% (б) за 13 марта 2013 г., с точностью обнаружения 0.73%

Несмотря на наличие ложных выборок и наложений, результаты были удовлетворительными для имеющейся выборки. Улучшения после обработки не было замечено, возможно, из-за потери информации при преобразовании изображений и схожести областей, требующих других правил аннотирования.

Полученная база данных, содержащая информацию о времени и месте снимков, позволила собирать данные о наличии вихрей в определенных районах и использовать их для проверки предсказаний нейросети. Например, если в течение недели наблюдается всего 1-2 вихря, это может свидетельствовать о погрешности, тогда как отсутствие вихрей может потребовать дополнительной аннотации с целью улучшения обучающей выборки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственных заданий ТОИ ДВО РАН № 124042300003-5 «Организация комплексного океанографического мониторинга дальневосточных акваторий гидрофизическими, оптическими и акустическими методами» и №124022100080-0 «Комплексное использование методов дистанционного зондирования Земли, а также наземных и подводных измерительных систем в исследованиях морских погодных образований, гидродинамические и

биогеохимических процессов в верхнем слое океана и морей».

ЛИТЕРАТУРА

1. Сикорский О.С. Обзор свёрточных нейронных сетей для задачи классификации изображений // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2017. №20. С. 37-42.
2. Солдатова О. П., Гаршин А. А. Применение сверточной нейронной сети для распознавания рукописных цифр // Компьютерная оптика. 2010. Т. 34, №2. С. 252-259.

УДК 551.465

НОВАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД ПО ДАНЫМ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ИХ СОСТАВА ПАССИВНЫМ ОПТИЧЕСКИМ ГИПЕРСПЕКТРОМЕТРОМ

Ростовцева В. В.

*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
vera@ocean.ru*

NEW CLASSIFICATION OF COASTAL WATERS BASED ON THE EXPRESS ANALYSIS DATA OF THEIR COMPOSITION OBTAINED BY PASSIVE OPTICAL HYPERSPECTROMETER

Rostovtseva V. V.

*P. P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospect, Moscow, 117997, Russia*

Предложена классификация прибрежных районов морей, включающих зоны смешения вод в проливах и плюмах рек, по соотношению концентраций трех основных компонент морской воды: на специальной диаграмме (Диаграмме Типов Вод) получены зоны вод, близких по составу к океаническим водам, зоны с преобладанием взвешенных веществ и/или с избытком органического вещества. Расчеты сделаны по данным

пассивного оптического зондирования с борта судна.

A classification of coastal sea areas including zones of mixing of waters in straits and river plumes is proposed. It is based on the ratio of concentrations of three main components of sea water: zones of waters close in composition to ocean waters, zones with prevalence of suspended matter and/or with excess of organic matter are obtained on a special diagram (Diagram of Water Types). Calculations are made based on data of passive optical sounding from board a ship.

Ключевые слова: прибрежные морские воды, пассивное оптическое зондирование, коэффициент спектральной яркости моря, концентрация взвешенного вещества, концентрация пигментов фитопланктона, концентрация растворенной органики

Keywords: coastal sea waters, passive optical sounding, spectral radiance coefficient of the sea, concentration of suspended matter, concentration of phytoplankton pigments, concentration of dissolved organic matter

В прибрежных акваториях морей и океанов, имеющих наибольшее значение для жизни и хозяйства миллионов людей, состав воды может существенно отличаться от вод центрального океана как по количеству, так и по относительному содержанию той или иной природной компоненты. Огромное разнообразие условий в прибрежных зонах океана вызывает там самые различные процессы от распреснения вод до переноса реками большого количества взвешенных и растворенных веществ с суши, усиливающих или ослабляющих процессы роста фитопланктона. Возникает вопрос, насколько эти районы отличаются от собственно океанских вод, то есть какую роль в них играют береговые факторы, такие как плумы рек, течения из проливов, влияние взмучивания донных осадков или, например, пылевых бурь над поверхностью воды.

В данной работе предложено сортировать прибрежные воды по соотношению концентрации трех основных природных компонент морской воды: концентрации пигментов фитопланктона, концентрации растворенной органики и концентрации взвешенного вещества. Все эти компоненты определялись по единому алгоритму по данным трехканального пассивного оптического гиперспектрометра, работающего с борта нис [1]. Схема получения и обработки данных дана на Рис. 1. В результате концентрации указанных природных компонент оценивались в единицах m^{-1} в оптическом диапазоне длин волн, что удобно при приведении их к относительному виду.

Для локализации каждого типа вод введена Диаграмма Типа Вод

(Рис. 2). По оси абсцисс здесь откладываются величины, пропорциональные концентрации показателя поглощения света органическим веществом, а по оси ординат – показатели поглощения света взвесью, причем обе величины нормируются на концентрацию поглощения света пигментами фитопланктона таким образом, чтобы все пространство было ограничено значениями от 0 до 1. Положение области океанских вод, показанное на рисунке окружностью, было определено по данным многочисленных оптических измерений, проведенных в рейсах Института Океанологии в открытом океане [2].

Результаты обработки оптических измерений в Черном море в районах впадения рек показывают, что вдали от побережья наблюдается баланс концентрации фитопланктона с концентрацией органики и взвеси, в то время как реки приносят в море избыток взвешенного вещества. Интересно, что в районе Канарского апвеллинга в Атлантике также наблюдается избыток взвеси (очевидно, это результат переноса пыли из районов Сахары). В Керченском проливе наблюдается увеличение доли органики, поступающей из Азовского моря.

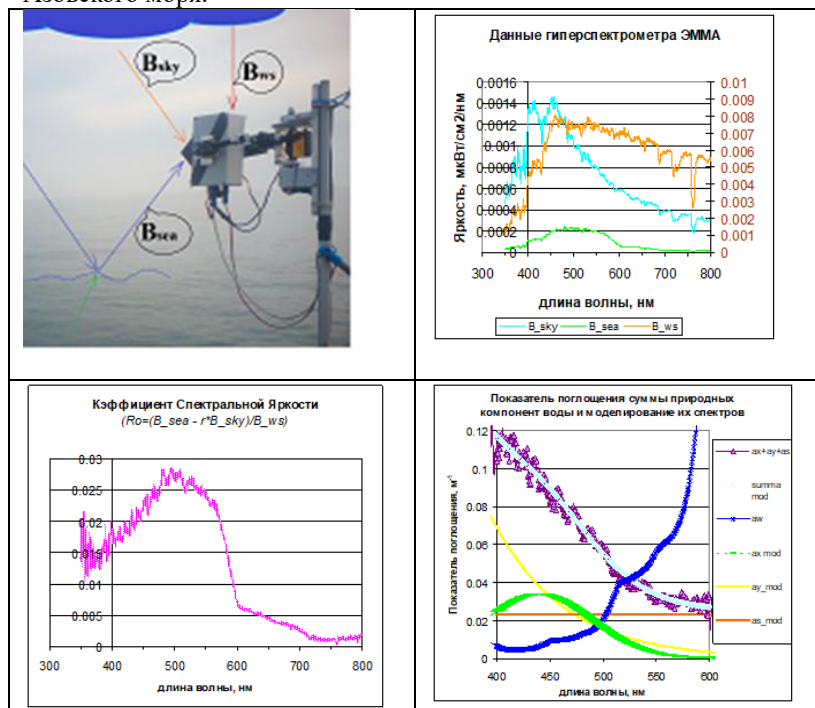


Рис. 1. Схема получения данных о концентрации природных компонент в

морской воде пассивным оптическим гиперспектрометром ЭММА:
 ах – поглощение пигментами фитопланктона на 440 нм;
 ау – поглощение органическим веществом на 500 нм;
 аs – неселективное поглощение взвешенным веществом

Наибольшее количество избыточного органического вещества видно в Карском море на траверзе Обской Губы. В то же время в плюме реки Рио-Гранде, выносящей в Атлантический океан не меньшее количество органического вещества и взвеси, баланс с количеством фитопланктона практически такой же, как и в самом океане. Необходимо отметить, что

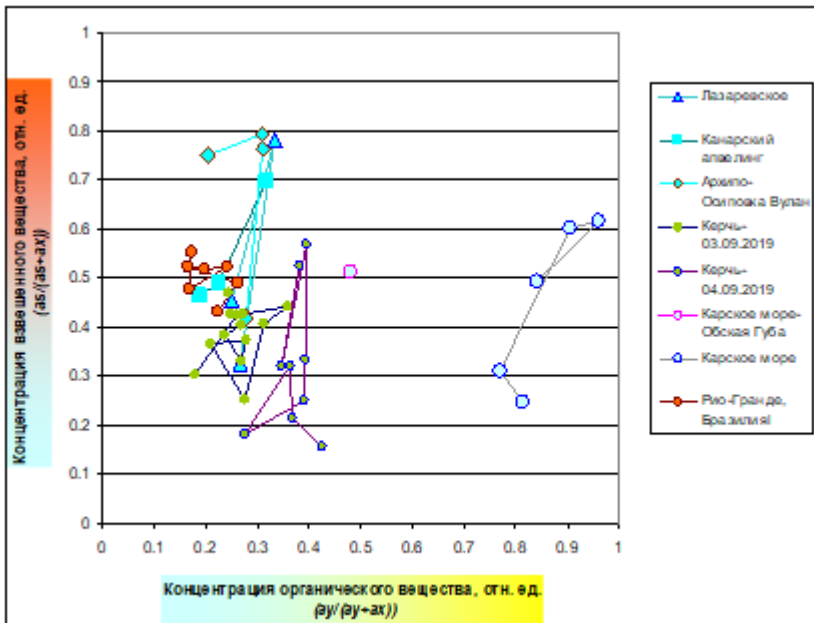


Рис. 2. Диаграмма Типа Вод (ДТВ):

Типы прибрежных вод:

- воды баланса БВ (Balance Waters - BW),
- воды с экстр. органикой ЭОВ (Extra Organic Waters – EOW),
- воды с экстр. суспензией ЭСВ (Extra Suspension Waters – ESW).

Расположение значений относительной концентрации основных природных компонент, рассчитанных по данным измерений в различных прибрежных районах Черного, Азовского, Карского, а также в районе Канарского апвеллинга и в плюме реки Рио-Гранде при

сравнении этих акваторий по типу прибрежных вод, то есть при оценке их близости к балансу с количеством фитопланктона, предложенный метод позволяет не учитывать трофность самих вод.

Работа выполнена в рамках государственного задания № FMWE-2024-0015

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаренко И. В., Ростовцева В. В. Пассивное оптическое зондирование речных пломов с борта судна с помощью гиостабилизированного комплекса ЭММА // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2020. Т. 13. № 2. С.96-102. <https://doi.org/10.7868/S2073667320020124>
2. Пелевин В. Н., Ростовцева В. В. Оценка концентрации светопоглощающих и светорассеивающих веществ в различного типа водах открытого океана // *Оптика атмосферы и океана*. 1997. Т.10. № 9. С. 989-995.

УДК 551.465.53

МАСШТАБЫ ИЗМЕНЧИВОСТИ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЙ И ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ

Амбросимов А.К., Ковалев Г.А., Мельников В.А.

*Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8 (499) 124-63-83,
vmelnikov@ocean.ru*

SCALES OF CURRENT VELOCITY AND TEMPERATURE VARIABILITY IN THE KARA SEA WESTERN PART

Ambrosimov A.K., Kovalev G.A., Melnikov V.A.

*P.P. Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of
Sciences, 36, Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

В работе рассматриваются спектральные свойства течений и температуры во внутригодовом диапазоне частот в Карском море около полуострова Ямал по измерениям в 2021-2022 гг.

The paper considers the spectral properties of currents and air/water temperatures in the intra-annual frequency range in the Kara Sea near the Yamal Peninsula based on measurements in 2021-2022.

Ключевые слова: Карское море, течения, прогрессивные векторные диаграммы, спектральный и вэйвлет анализы.

Key words: Kara Sea, currents, progressive vector diagrams, spectral and wavelet analysis.

Гидродинамика Карского моря представляет большой интерес для изучения смешения трёх видов вод в уникальном «реакторе» Арктики на фоне глобальных климатических тенденций.

Сложная система течений Карского моря создаётся в результате многомасштабных атмосферных воздействий (включая катататические ветры с о. Новая Земля), сезонных прогревов и ледообразований, приливов и др., на фоне медленной адаптации к гравитационному равновесию водных масс, состоящих из пресного стока сибирских рек, северо-атлантических и арктических вод.

К настоящему моменту в Карском море были проведены ряд экспедиций ГОИН, ИО РАН, АНИИ по фундаментальным и прикладным задачам. В результате этих работ в Карском море были частично выяснены гидрологическая структура и динамика вод в некоторых акваториях моря; обнаружены многочисленные фронтальные зоны; исследовались процессы распространения стоков Оби и Енисея и формирование линз опреснённых вод; водообмены между Карским и соседними арктическими морями (Баренцевым и морем Лаптевых); а также поступление холодных высокосолёных вод Арктического бассейна Северного Ледовитого океана в глубинные слои Карского моря, [1].

В юго-западной части Карского моря у северных берегов п-ва Ямал, на акватории к западу от о. Белый, происходит схождение нескольких потоков вод различного происхождения, [1].

В этом районе были проведены измерения уровня моря, скорости течений и температуры воды на полигоне из шести притопленных буйковых станциях (ПБС), рис. 1.

В двух точках центральной части Карского моря, между п-о Ямал и о. Новая Земля, в придонном слое на глубине 32 м (при глубине моря 42 м) были установлены две ПБС, на которых два измерителя (Sontek D803 и D808) проработали с дискретностью 1 час почти по году: с октября 2021 г. по сентябрь 2022 г.

На других ПБС были получены данные измерителей ADCP(Sontek), “Sea-Horse” (“инклинометров”), гидрологических зондов различной продолжительности и дискретности.

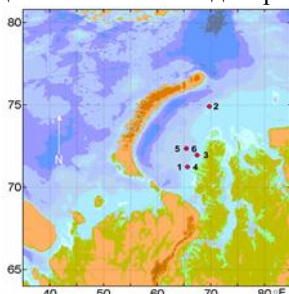


Рис. 1. Притопленные буйковые станции (ПБС) в Карском море в период октябрь 2021- сентябрь 2022 гг.

1.Станция 7205, прибор Sontek D803, горизонт прибора 32 m; 2- Ст.-7219-D808-32m; 3-Ст.-7440-D805-75m; 4- Ст.-7440-D811-45m; 5-Ст.-7441-D804-05m; 6-Ст.-7441- D812-75m.

Дополнительно, использовались архивы анализа гидрометеорологической обстановки в регионе (ААНИИ, 2022,2023), спутниковая информация (поля температуры поверхности моря (SST PathFinder), аномалий уровня моря (Aviso), траектории поверхностных дрейфтеров, а также данные прибрежных северных метеорологических станций из списка ВМО и, в частности, стандартные данные метеостанций на мысе Харасавэй, в Сабетте (аэропорт), на метеостанции им. М.В.Попова (о.Белый), расположенных в относительной близости полигона ПБС. Рельеф дна Карского моря визуализирован на основе массивов Smith, Sandwell,1997.

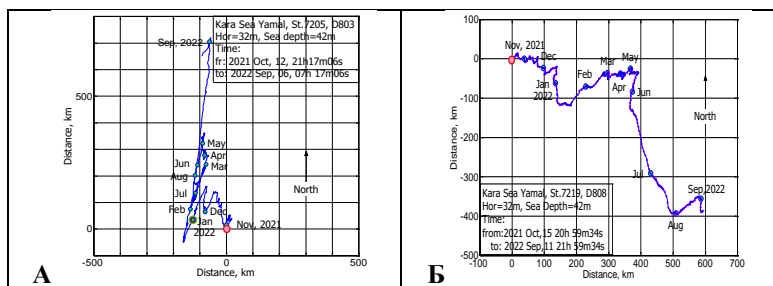


Рис.2. А, Б.

Прогрессивные векторные диаграммы скорости течений на глубине 32 m (при глубине моря 42 m), А-датчик D803 и Б- датчик D808.

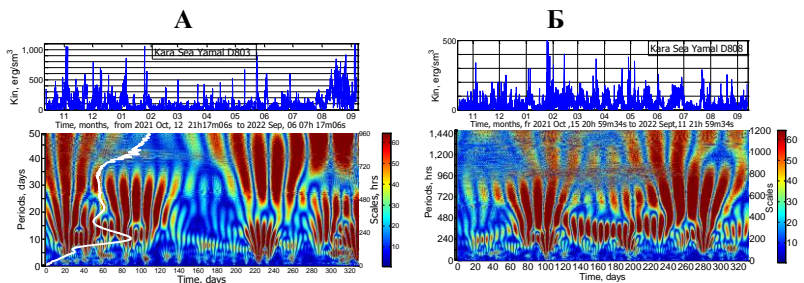


Рис.3, А, Б. Ход плотности кинетической энергии воды (верхняя панель) и вэйвлет-плотность в диапазоне периодов 1-50 суток (нижняя панель). Светлая линия - спектр вэйвлет-плотности, проинтегрированной по времени. А-Датчик D803; Б- Датчик D808.

На основе статистических оценок параметров, включая метеорологические элементы, уровень моря и температуру поверхности моря, проведен анализ масштабов пространственно-временной изменчивости полей и получены новые данные о характере эволюции механизмов гидродинамических процессов во внутригодовом диапазоне периодов 2 час.-170 суток. Выводы: 1. Инструментальные измерения течений в Карском море имеют троякое значение:

во-первых, позволяют прояснить локальные гидродинамические процессы; во-вторых, могут быть использованы для калибровки и тестирования данных различных реанализов; в-третьих, могут быть использованы для ассимиляции в региональных моделях циркуляции морей.

2. На основе данных измерений скоростей течений и температуры в течение года (включая ледовый период) около западных берегов полуострова Ямал, проведен анализ масштабов пространственно-временной изменчивости наблюдаемых гидрометеорологических полей и получены новые данные о характере действующих физических механизмов развития разномасштабных гидрофизических процессов в центральной части Карского моря. Представляет интерес анализ приливных и инерционных колебаний в полярной области на примере Карского моря.

3. Обнаружено, что в ледовый период существуют циклы продолжительностью около 10 суток, заброса холодных и высокосолёных вод из котловины Северного ледовитого океана (видимо по желобам Св. Анны и Воронина). Предполагается, что

летом в юго-западной части Карского моря, около полуострова Ямал, над водами котловины Северного ледовитого океана формируется характерная структура стратификации Карского моря в результате солнечного прогрева, перемешивания пресных вод из стока рек Оби и Енисея, поступления баренцевоморских вод через Карские ворота и вокруг северной оконечности о. Новая Земля.

Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН по теме FMWE-2024-0016, а также при выполнении темы 4.6.11 ГОИН Росгидромета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амбросимов, А.К., Мельников, В.А. О течениях Карского моря: спутниковые наблюдения и измерения in situ// 22-ая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса".- XXII.Е.373.-2024.- С.295.

УДК 551.465

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕПЛООБМЕНА ПОЛЯРНЫХ МОРЕЙ С АТМОСФЕРОЙ, АТЛАНТИЧЕСКИМ И СЕВЕРНЫМ ЛЕДОВИТЫМ ОКЕАНАМИ В МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТАХ НА ОСНОВЕ ДААННЫХ АРГО

Лебедев К.В., Попов А.П., Филюшкин Б.Н.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
KLebedev@ocean.ru*

**USING ARGO DATA TO STUDY INTER-ANNUAL VARIABILITY IN
HEAT EXCHANGE OF NORDIC SEAS WITH ATMOSPHERE, NORTH
ATLANTIC, AND ARCTIC OCEANS**

Lebedev K.V., Popov A.P., Filyushkin B.N.

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskii prospekt, Moscow, 117997*

В статье представлены некоторые результаты модельных расчетов теплообмена Норвежского и Гренландского морей с Атмосферой, Атлантическим и Северным Ледовитым океанами.

Model study of inter-annual variability in heat exchange of Nordic Seas with Atmosphere, Atlantic, and Arctic Oceans is presented.

Процессы взаимодействия вод Северной Атлантики, несущих в Арктический регион большие количества тепла и соли, с холодными и менее солеными водами морей Северного Ледовитого океана в основном происходят в пределах Норвежского и Гренландского морей. Поступление большого количества тепла и соли с водами Северной Атлантики, с одной стороны, создает уникальную переходную область с особым региональным климатом, когда в арктических широтах в течение всего года моря свободны ото льда. Более того, эта область определяет умеренный климат Западной Европы, а характер и величина затока вод из Атлантического океана тесно связаны с изменчивостью индекса Североатлантического колебания (САК) [1]. С другой стороны, большое количество соли в верхних слоях приводит к развитию вертикальной конвекции и формированию промежуточных и глубинных вод высокой плотности для Северного Ледовитого океана и Северной Атлантики, которые в значительной мере определяют циркуляцию вод в глубинах Атлантического океана. Количество гидрофизических наблюдений в приполярных районах ограничено, поэтому крайне важно ответить на вопрос о критичности неполноты знаний термохалинных характеристик для численного моделирования особенностей межгодовой изменчивости циркуляции в этом районе.

Исследование изменчивости теплообмена полярных морей с атмосферой, Атлантическим и Северным Ледовитым океанами базируется на данных атмосферного реанализа ECMWF ERA-Interim и модельных расчетах с использованием разработанной в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН Арго-модели исследования глобального океана (АМИГО) [1-2], которая состоит из блока вариационной интерполяции на регулярную сетку нерегулярно расположенных во времени и пространстве данных профилирования Argo [3] и блока модельной гидродинамической адаптации вариационно проинтерполированных полей [4]. Такая методика позволяет получать по данным измерений Argo полный набор океанографических характеристик: температуру, соленость, плотность и скорость течений.

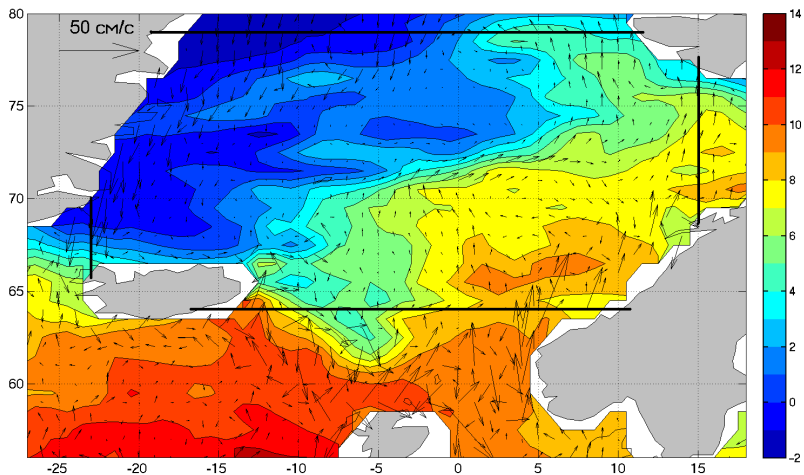


Рис. 1. Среднегодовое распределение температуры на глубине 20 м по измерениям Argo за период с 2005 по 2014 гг. на фоне поля течений в области полярных морей. Линиями показано положение разрезов, оконтуривающих область расчетов.

Построенные по среднегодовым данным поля температуры и течений исследуемого района представлены на рис. 1. Для расчетов теплообмена область полярных морей была ограничена от окружающих океанов следующим образом: пролив Фрама по 79° с.ш., Баренцево море с запада меридианом по 15° в.д. от Норвегии до Шпицбергена, Датский пролив по 23° з.д. от Исландии до Гренландии и, наконец, разрез от Исландии до Норвегии по 64° с.ш.

По результатам проведенных исследований можно констатировать, что массив измерений Argo позволил построить адекватные для одноградусной сетки карты пространственной изменчивости термохалинных полей и рассчитать с использованием Argo-модели поля течений для всей акватории полярных морей [5]. По результатам расчетов были получены климатические, среднегодовые и сезонные величины потоков тепла на четырех разрезах, оконтуривающих область полярных морей. Был показан полный баланс обмена теплом полярных морей с атмосферой, Атлантическим и Северным Ледовитым океанами и проведен его детальный анализ. Результаты расчетов показали, что приток тепла в область полярных морей больше, чем его отток. При этом, с одной стороны, средний за

период расчетов баланс тепла в исследуемой области хорошо совпадает с осредненными за аналогичный период времени потоками тепла из океана в атмосферу, рассчитанными по данным реанализа ECMWF ERA-Interim. Однако, с другой стороны, амплитуда сезонной изменчивости баланса тепла в области оказалась заметно ниже амплитуды сезонной изменчивости потоков тепла из океана в атмосферу (рис. 2). В работе показано, что заметная разница амплитуд поступления в область тепла с течениями и его ухода в результате обмена с атмосферой на 90% связана с изменением теплосодержания океана, а остающиеся 10%, предположительно, обусловлены процессами образования и таяния льда, которые являются энергетически достаточно затратными. Косвенно в пользу такого предположения говорит хорошее совпадение средних для области величин, из которых в результате осреднения был удален сезонный ход. Если бы сами расчеты были некорректными, такого хорошего совпадения средних величин как для среднеклиматических величин, так и при 10-летнем осреднении сезонного хода, добиться бы не удалось. Также следует отметить, что экстремальные значения потоков тепла зимой 2011–2012 гг. нашли свое полное подтверждение в данных арктических метеонаблюдений и хорошо коррелируют с экстремальными значениями межгодовых колебаний индекса САК.

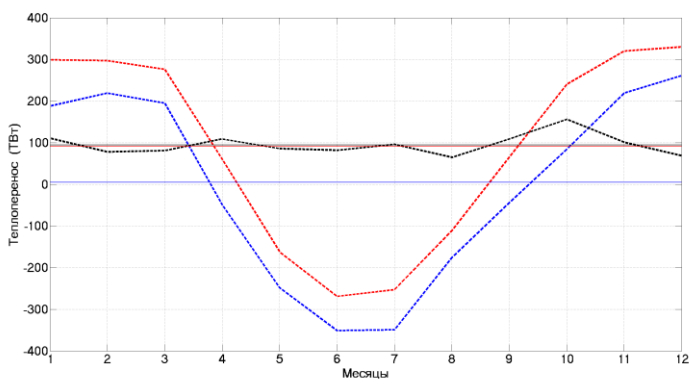


Рис. 2. Сезонный ход теплового баланса (ТВт) области полярных морей за счет адвективного переноса тепла течениями через боковые границы (черная штриховая линия), ее тепловой обмен с атмосферой (красная штриховая линия), а также их разность (синяя штриховая линия).

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России № FMWE-2023-0002.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев К.В. Арго-модель исследования глобального океана (АМИГО) // *Океанология*. 2016. Т.56. №2. С. 186–196.
2. Лебедев К.В. Арго-Модель Исследования Глобального Океана: синтез наблюдений и численного моделирования // *Океанологические исследования*. 2017. Т. 45. №1. С. 53–69.
3. Lebedev K.V., DeCarlo S., Hacker P.W., Maximenko N.A., Potemra J.T., Shen Y. Argo Products at the Asia-Pacific Data-Research Center // *EOS Trans. AGU*. 2010. V. 91(26). Ocean Sci. Meet. Suppl. Abstract IT25A-01.
4. Иванов Ю.А., Лебедев К.В. О межсезонной изменчивости климата Мирового океана // *Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана*. 2000. Т.36. №1. С. 129–140.
5. Лебедев К.В., Филюшкин Б.Н., Щепёткин А.Ф. Модельное исследование межгодовой изменчивости водообмена Полярных морей с Атлантическим и Северным Ледовитым океанами // *Океанологические исследования*. 2020. Т. 48. №2. С. 34–50.

УДК 551.466

НАТУРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ НА ШЕЛЬФЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ ПРИ ПОМОЩИ ПРИДОННЫХ ДАТЧИКОВ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

Куликов М.Е. , Крылов А.А. , Медведев И.П.
*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997, Москва, Нахимовский пр., 36, 8(499)124-13-01,
mik.evg.kulikov@gmail.com*

MEASUREMENTS OF SEA LEVEL FLUCTUATIONS IN THE LAPTEV SEA USING SHELF-MOUNTED PRESSURE LOGGERS

Kulikov M.E., Krylov A.A., Medvedev I.P.
*¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia.*

Получены продолжительные ежесекундные записи уровня на шельфе моря Лаптевых, при помощи сети придонных мареографов, за период 2018-2023 гг. Анализ записей раскрывает особенности колебаний уровня моря в широком диапазоне частот.

We have obtained long-term, 1 Hz records of sea level on the Laptev Sea shelf using a network of benthic pressure loggers for the period 2018-2023. The analysis of the records reveals the peculiarities of sea level fluctuations in a wide frequency range.

Ключевые слова: уровень моря, волнение, приливы, штормовые нагоны, датчики давления, море Лаптевых

Key words: sea level, waves, tides, storm surges, pressure loggers, Laptev Sea

В ходе рейсов на НИС «Академик Мстислав Келдыш» (АМК-73, АМК-78 и АМК-82, 2018-2020 гг.) были установлены локальные сети морских придонных станций сейсмоакустической разведки (МПССР) на шельфе моря Лаптевых для изучения сейсмичности региона [1, 2]. В каждом рейсе вместе с сейсмоакустическими станциями устанавливались придонные датчики гидростатического давления. В рейсе АМК-73 использовался автономный регистратор волнения (АРВ К14-1), а в рейсах АМК-78 и АМК-82 – мареографы RBR virtuoso3 D. Приборы оснащены кварцевым барочувствительным элементом, мембрана которого прогибается от воздействия давления столба жидкости, деформируя закрепленный на ней силочувствительный пьезоэлемент.

В таблице 1 приводится основная информация об этих постановках. На рисунке 1 показано положение всех датчиков, установленных на шельфе моря Лаптевых.

Таблица 1. Мареографы с записями ежесекундных данных измерений уровня, установленные на шельфе моря Лаптевых во время рейсов АМК 73, 78 и 82 (2018-2020 гг.)

Прибор	Координаты, град. с.ш. / в.д.	Дата постановки	Длина записи, сут.	Глубина, м
АРВ	75.20 / 127.40	06.10.2018	365	40
RBR 1	76.83 / 127. 69	11.10.2019	363	61

RBR 2	76.83 / 128.15	09.10.2020	834	66
RBR 3	76.61 / 129.96	20.10.2020	732	57
RBR 4	76.41 / 126.02	20.10.2020	758	64

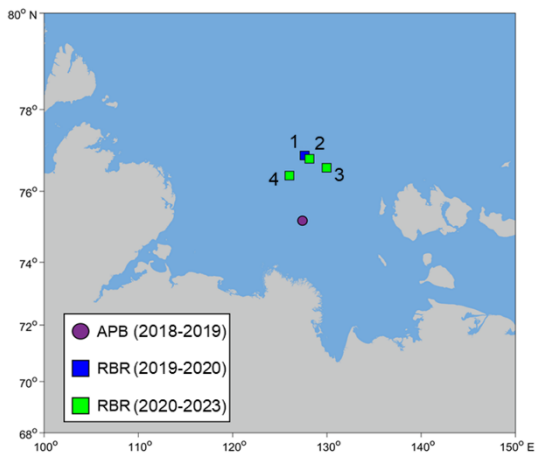


Рис. 1. Расположение мареографов на шельфе моря Лаптевых

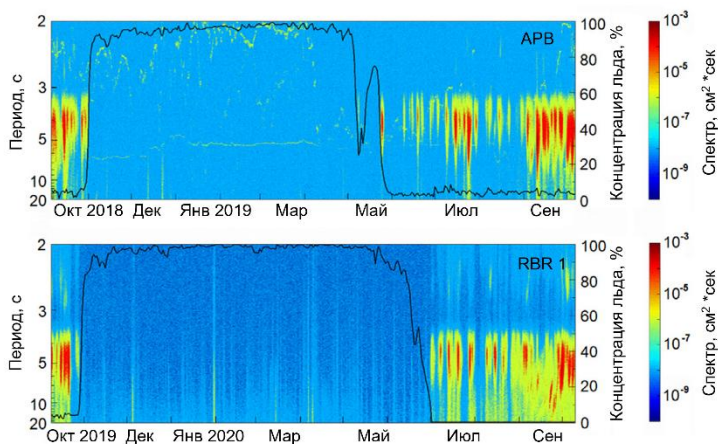


Рис. 2. Временные спектрограммы колебаний уровня моря, рассчитанные по записям с мареографов APB (вверху) и RBR 1 (внизу) из [3]. Черной кривой показана концентрация льда, построенная по данным из реанализа EUMETSAT. Для полученных записей были построены временные ряды, а

также спектрограммы в различных частотных диапазонах. Получены заметные различия в доле приливов в дисперсию суммарных колебаний уровня моря между центральной частью шельфа моря Лаптевых (АРВ), где вклад приливов составляет 32%, и его северной частью (RBR 2), где их доля достигает 75%. Также была проанализирована сезонная изменчивость энергии высокочастотных колебаний (в районе 5-10 секунд), соответствующих ветровому волнению и зыби. Энергия этих колебаний уменьшалась на несколько порядков в период с ноября по июнь – июль, что связано с влиянием ледяного покрова (рисунок 2).

Наиболее продолжительная запись (с октября 2020 г. по февраль 2023 г.) и ее спектрограмма показаны на рисунке 3. Максимальный размах колебаний уровня моря составил 217 см и наблюдался 17-18 октября 2020 г., что проявляется также на высоких частотах (периоды от 2 секунд до 2 часов) приведенной спектрограммы. Заметное усиление на периодах свыше 2 минут наблюдалось в июне 2022, при этом в синоптическом диапазоне (от нескольких часов до суток) роста амплитуды уровня моря не наблюдалось, что связано с откликом на циклон, прошедшим на определенном удалении от места измерения.

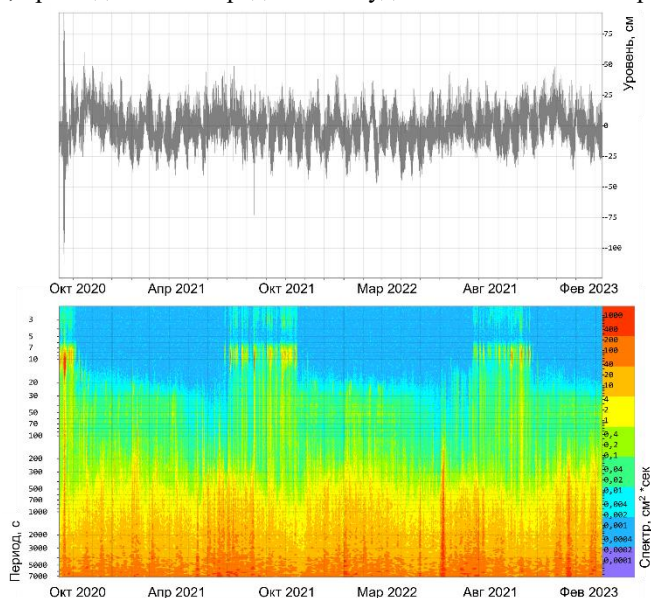


Рис. 3. Исходная (ежесекундная) запись колебаний уровня моря (вверху) и их спектрограмма (внизу) с датчика RBR 2

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН FMWE-2024-0018 и при финансовой поддержке РФФ в рамках научного проекта № 23-17-00125.

ЛИТЕРАТУРА

1. Krylov, A.A. Ocean-bottom seismographs based on broadband MET sensors: architecture and deployment case study in the Arctic / A.A. Krylov, I.V. Egorov, S.A. Kovachev, D.A. Ilinskiy, O.Y. Ganzha, G.K. Timashkevich, K.A. Roginskiy, M.E. Kulikov, M.A. Novikov et al. // Sensors. – 2021. – V. 21(12). – P. 3979.
2. Krylov, A.A. Peculiarities of the HVSR method application to seismic records obtained by ocean-bottom seismographs in the Arctic / A.A. Krylov, M.E. Kulikov, S.A. Kovachev, I.P. Medvedev, L.I. Lobkovsky, I.P. Semiletov // Applied Sciences. – 2022. – V. 12 (19). – P. 9576.
3. Squire, V.A. A cornucopia of oscillations on the Laptev Sea shelf / V.A. Squire, D.P. Kovalev, P.D. Kovalev, I.P. Medvedev, M.E. Kulikov // Continental Shelf Research. – 2021. – V. 227. – P. 104514.

УДК 551.463.52

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ СПЕКТРАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЯРКОСТИ МОРЯ

Володин В.Д., Глуховец Д.И.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997, Москва, Нахимовский пр., 36, 8(917)542-96-79
jar.ohty@gmail.com*

SMALL SIZED SPECTRAL REFLECTANCE METER

Volodin V.D., Glukhovets D.I.
*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia.*

В статье представлено описание малогабаритного прибора для измерения спектрального коэффициента яркости моря на базе миниатюрного бездисперсионного спектрометра AIOX 2000-02.

Paper describes a small sized device for registration of seawater spectral reflectance based on non-dispersion spectrometer AIOX 2000-02.

Ключевые слова: спектральный коэффициент яркости моря, фотометрия

Key words: seawater reflectance spectra, photometry

Спектральный коэффициент яркости моря R_{rs} представляет собой характеристику восходящего излучения моря и несет информацию о различных характеристиках водной среды, таких, как содержание фитопланктона и растворенного органического вещества. Для его измерения используются как контактные [1], так и дистанционные методы измерения.

Разработан и изготовлен малогабаритный спектрорадиометр Mini-Rho для измерения спектрального коэффициента яркости моря с палубы судна. Прототипом, взятым за основу конструкции и методики измерения, стал ранее разработанный в Лаборатории оптики океана ИО РАН палубный спектрорадиометр [1]. В отличие от прототипа, в качестве спектрального приемника света применен микроспектрометр AIOX 2000-02 на основе светочувствительной КМОП-матрицы с массивом интерференционных фильтров. При значительно меньших габаритах (30x30x25 мм) и стоимости (более чем на порядок) по сравнению с миниатюрными дифракционными спектрометрами по схеме Черны-Гернера (например, Ocean Optics Flame), данное устройство имеет спектральное разрешение 5 нм, что сопоставимо с дифракционными спектрометрами и достаточно для фотометрических измерений характеристик светового поля в океане.

Схема измерений представлена на рисунке 1а, общий вид спектрометра – на рисунке 1б. Основание 1 и крышка 2 образуют корпус, в котором на оси установлен диск, фиксирующийся в трех положениях подпружиненным шариком. В этих положениях на линии зрения спектрометра 8 с объективом 7 оказывается сквозное окно, через которое производится измерение яркости моря, или одна из двух мишеней: черное стекло, либо стандартный серый экран с отражательной способностью 18%. Черное стекло, имеющее отражательную способность 4,5%, используется в качестве модели морской воды для определения L_{sky} , а серый экран – для определения L_{scr} в формуле рис. 1а. В качестве объектива 7 используется одиночная ахроматическая линза с фокусом 30 мм, помещенная в коническую

светозащитную бленду, снабженную крепежным фланцем. Стойка 9 фиксирует спектрометр и объектив под углом 30° к вертикали. Все детали конструкции, кроме спектрометра, мишеней и линзы объектива, изготовлены методом 3D печати. Это обеспечивает повторяемость и воспроизводимость конструкции.

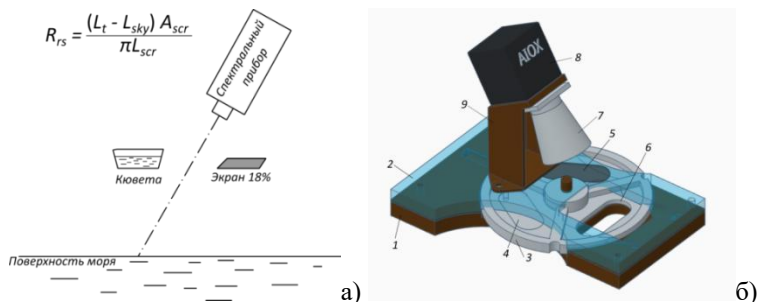


Рис. 1. а) метод измерения спектрального коэффициента яркости. б) общий вид спектрорадиометра Mini-Rho. 1 – основание, 2 – крышка, 3 – диск, 4 – серый экран, 5 – черное стекло HC-11, 6 – окно, 7 – объектив, 8 – спектрометр, 9 – стойка.

Регистрация спектров и их первичная обработка с вычислением спектрального коэффициента яркости в первоначальном варианте осуществлялась с помощью ПК под управлением программы, написанной на Python. Программа автоматически подбирает экспозицию и выполняет три последовательных регистрации спектров, сообщая пользователю о необходимости поворота диска в соответствующее положение.

Спектрорадиометр Mini-Rho был опробован в экспедициях ЧМ-2024 (Черное море) и АМК-95 (Баренцево и Карское моря). В ходе экспедиции ЧМ-2024 проведено сравнение спектров, регистрируемых с помощью него и плавающего спектрорадиометра. Показано соответствие формы этих спектров (рис. 2). В целом формы спектров соответствуют друг другу. Некоторые расхождения в красной области обусловлены повышенной отражательной способностью черного стекла в диапазоне 600-700 нм; поднятие в фиолетовой области связано с понижением коэффициента отражения серого экрана.

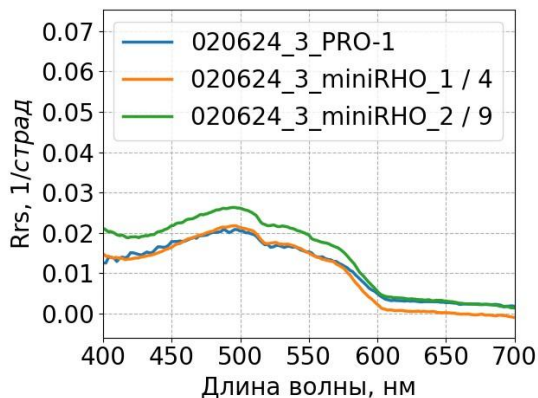


Рис.2. Сравнение спектров коэффициента яркости, зарегистрированных ПРО-1 (голубая линия) и двух последовательных измерений Mini-Rho.

Уточненные спектры отражения серого экрана и черного стекла внесены в программу обработки, также уточнен коэффициент пересчета L_{scr} с учетом разного коэффициента отражения черного стекла и воды. Уточненная формула вычисления $R_{rs}(\lambda)$ приняла вид:

$$R_{rs}(\lambda) = \frac{0,18k_{gs}(\lambda)(L_t(\lambda) - 0,84 \cdot L_{sky}(\lambda) \cdot k_{bm}(\lambda))}{\pi L_{scr}(\lambda) + 1} \text{ где } L_t(\lambda), L_{scr}(\lambda) \text{ и } L_{sky}(\lambda)$$

спектры, представленные в виде массивов целочисленных беззнаковых значений в интервале [0..65535] (uint16_t), а $k_{gs}(\lambda)$ и $k_{bm}(\lambda)$ – массивы коэффициентов коррекции соответственно серого экрана и черного стекла, выраженных дробными числами, близкими к единице. Прибавление единицы к знаменателю устраняет возможные ошибки деления на 0 без введения проверок на 0 в каждой итерации цикла, и вместе с тем не вносит заметной погрешности в результат, так как полезные значения отсчетов обычно превышают 1000.

В ходе экспедиции АМК-95 проведена оценка возможности использования Mini-Rho при низких углах Солнца и малых уровнях освещенности. Показана возможность проведения измерений в этих условиях в ясную погоду.

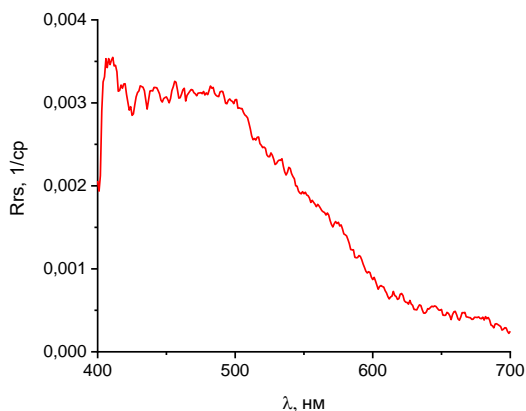


Рис.3. Спектр R_{rs} , зарегистрированный 7.07.2024 в рейсе АМК-95 в ясную погоду при высоте Солнца около 5° .

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Артемьев В.А., Буренков В.И., Вортман М.И., Григорьев А.В., Копелевич О.В., Храпко А.Н. Подспутниковые измерения цвета океана: новый плавающий спектрорадиометр и его метрология // Океанология. 2000. Т. 40. № 1. С. 148-155.
2. Pavlova M.A., Glukhovets D.I., Volodin V.D. Deck spectroradiometer for measuring remote sensing reflectance // Oceanology. 2023. V.63. Suppl. 1. P. S228-S237.

УДК 551.463.5

СВЯЗЬ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФFUЗНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА И МУТНОСТИ В ЧЕРНОМ МОРЕ ВЕСНОЙ 2023 ГОДА

Кудинов О.Б., Крыль М.В., Подгибайлов Е.А., Рябоконт Д.А.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический
институт РАН», 299011, Севастополь, ул. Капитанская, 2,
+7(8692)545241, obk91@mail.ru*

RELATIONSHIP BETWEEN LIGHT ATTENUATION COEFFICIENT AND TURBIDITY BASED ON IN-SITU MEASUREMENTS IN THE BLACK SEA IN SPRING 2023

Kudinov O.B.¹, Kryl M.V.¹, Pogibaylov E.A.¹, Ryabokon D.A.¹

¹ *Federal State Budgetary Institution of Science Federal Research Centre "Marine Hydrophysical Institute of RAS",
299011, Sevastopol, Kapitanskaya St., 2, +7(8692)545241,
obk91@mail.ru*

В работе представлен анализ вертикальных профилей коэффициента диффузного ослабления света (K_d) и мутности в морской воде (126 рейсе НИС «Профессор Водяницкий»), который показал, что основной вклад в поглощение света в море вносит растворённое органическое вещество в поверхностном слое моря.

The paper presents an analysis of vertical profiles of the diffuse light attenuation coefficient (K_d) and turbidity in seawater (126 voyage of the R/V "Professor Vodyanitsky"), which showed that the main contribution to light absorption in the sea is made by dissolved organic matter in the surface layer of the sea.

Ключевые слова: диффузное ослабление, мутность, облученность, натурные данные, зондирование.

Key words: diffuse attenuation, turbidity, irradiance, field data, sounding.

Коэффициент диффузного ослабления нисходящего солнечного излучения (K_d) – это интегральный параметр, характеризующий глубину проникновения солнечной радиации в водную толщу, которая затухает в воде с глубиной по экспоненциальному закону Бугера-Ламберта-Бера [1]. Ослабление солнечного излучения в воде обусловлено биооптическими свойствами воды [2], содержанием растворённых и взвешенных в ней компонентов, таких как растворённое органическое вещество, фитопланктон, детрит, неорганическая взвесь [3], а также гидродинамическими условиями. Все перечисленные компоненты морской воды влияют на другую оптическую характеристику – мутность. Коэффициент ослабления света K_d и мутность тесно связаны, так как оба параметра зависят от одних и тех же параметров водной среды.

Цель данной работы – провести сопоставление вертикальных

профилей K_d и мутности, полученных в 126 рейсе НИС «Профессор Водяницкий» весной 2023 года, и определить вклад в поглощение света крупными взвешенными частицами (фитопланктон, детрит, минеральные частицы), которые обуславливают значительный вклад в рассеяние света в красной области спектра.

Рейс проводился в шельфовых водах южного и юго-восточного берега Крыма с использованием погружного измерителя горизонтальной подводной облученности [4], разработанного в отделе оптики и биофизики моря МГИ РАН. И штатного судового океанографического зонда IDRONAUT Ocean Seven 320 plus CTD (Idronaut, Италия), в составе которого был установлен мутномер (Seapoint, США). На момент проведения экспедиции мутномер нуждался в плановой проверке метрологических характеристик. По этой причине представленные данные по мутности будут указаны в относительных единицах, а не в единицах мутности по формазину (FTU). Измеритель облученности имеет 7 спектральных каналов регистрации нисходящей облученности: 380; 443; 490; 510; 555; 590; 620 с шириной полосы пропускания 7 -10 нм; полоса пропускания УФ фильтра: 30 нм. Измеритель снабжен косинусным молочным коллектором. Мутномер – Seapoint, работает по нефелометрическому принципу. Длина волны излучения 880 нм. Угол рассеяния света: 15 – 150°, заявленный производителем диапазон регистрации: 0-1250 FTU, $\pm 5\%$ 0-1600 NTU.

В ходе экспедиции было выполнено 27 совместных зондирований измерителем облученности и мутномером. Зондирования выполнялись до глубин больше 50 м или до дна, где глубина станции не превышала 50 м. Полученные данные от измерителя облученности для каждого спектрального канала осреднялись по метру и пересчитывались в величины K_d по формуле:

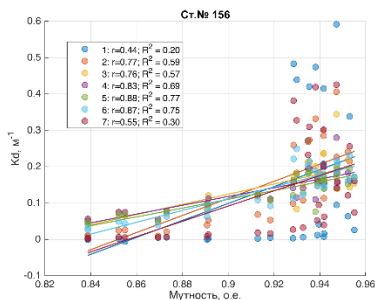
$$K_d = \frac{\ln(E(z_n)) - \ln(E(z_{n+1}))}{z_{n+1} - z_n}$$

где $E(z_n)$, $E(z_{n+1})$ — горизонтальная подводная облученность на глубине z_n , где n — это глубина в метрах. Вертикальные профили мутности также осреднялись с шагом по глубине в равном одному метру. Вертикальные профили K_d имеют экспоненциальную форму убывая с увеличением глубины. Нижняя граница фотосинтетически активной радиации (ФАР) для выполненных станций находилась в диапазоне от 25 – 35 м. Массивы данных усекались по глубине залегания ФАР для каждой станции. Вертикальные профили мутности на различных станциях имели различный характер: на прибрежных станциях мутность убывала с глубиной, на глубоководных станциях –

возрастала с глубиной достигая максимума на глубине 20 – 30 м, после которого убывала с глубиной. После подготовки данных производился их совместный корреляционный анализ. Строилась зависимость K_d от мутности для каждого спектрального канала. Посчитаны коэффициенты корреляции и детерминации для всех вертикальных профилей. Выявлено два типа зависимостей с положительным и отрицательным коэффициентом корреляции, которые связаны с характером вертикального профиля мутности. На рис.1, показаны станции №156 и 161. В результате анализа было установлена отрицательная корреляционная связь K_d и мутности с коэффициентом r в диапазоне от 0,45 до 0,86 (в зависимости от спектрального канала регистрации) при $R^2 = 0,2 - 0,75$ для вертикальных профилей мутности, возрастающих с глубиной или имеющих максимум на глубинах выше нижней границе ФАР. И положительная корреляционная связь с r от 0,44 до 0,88 при $R^2 = 0,2 - 0,77$ для вертикальных профилей мутности, плавно убывающих с глубиной.

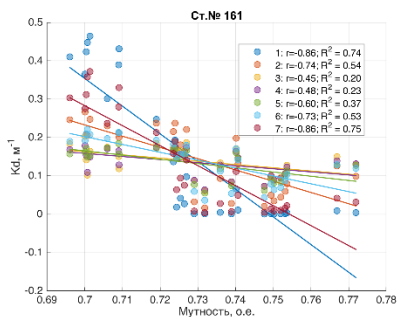
Полученная информация говорит о том, что изменчивость K_d очень сильно зависит от поглощения света компонентами морской воды, которые не дают вклада в рассеяние в красной области спектра. Вертикальные профили K_d статистически достаточно плохо связаны с мутностью, что означает – основной вклад в поглощение вносит растворённое органическое вещество, максимальные значения которого наблюдаются у поверхности, и концентрация которого значительно убывает с глубиной. Это предположение подтверждается данными вертикальных профилей интенсивности флуоресценции растворённого органического вещества, которые также были получены авторами на этих же станциях, в данном рейсе.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ РАН: FNNN-2024-0012. Работы в экспедиции выполнялись на ЦКП научно-исследовательское судно (НИС) «Профессор Водяницкий».



а

Цифрами обозначены спектральные каналы регистрации нисходящей облучённости по порядку:



- 1) 380 нм;
- 2) 443 нм;
- 3) 490 нм;
- 4) 510 нм;
- 5) 555 нм;
- 6) 590 нм;
- 7) 620 нм.

б

Рис.1 – Корреляционное соотношение K_d и мутности на двух станциях: а – где профиль мутности убывал с глубиной; б – где профиль мутности возрастал с глубиной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gordon, H. R. Can the Lambert-Beer law be applied to the diffuse attenuation coefficient of ocean water? *Limnology and Oceanography* - 1989, 34(8), 1389-1409.
2. Smith, R. C., & Baker, K. S. The bio-optical state of ocean waters and remote sensing. *Limnology and Oceanography* - 1978, 23(2), 247-259.
3. Чурилова Т.Я., Суслин В.В., Сосик Х.М. Спектральная модель подводной облученности в Черном море // *Морской гидрофизический журнал*. 2009. № 6. С. 33-46. EDN VKGALV.
4. Ли М. Е., Шибанов Е.Б., Мартынов О.В. Измерения спектральных свойств вертикального распределения горизонтальной облученности // *Современные проблемы оптики естественных вод*. – 2015. – Т. 8. – С. 271-277. – EDN YNEZUN.

**КОГЕРЕНТНАЯ ЗВУКОПОДВОДНАЯ СВЯЗЬ ПРИ
ПРОХОЖДЕНИИ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ШЕЛЬФЕ С
РЕЗКИМ СВАЛОМ ГЛУБИН**

Шатравин А.В., Химченко Е.Е.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997, Москва, Нахимовский пр., 36, 8(499)124-13-01,
ashatravin@ocean.ru*

**COHERENT UNDERWATER ACOUSTIC
COMMUNICATIONS DURING PASSAGES OF
INTERNAL WAVES ON A STEEP SHELF**

Shatravin A.V., Khimchenko E.E.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of
Sciences, 36, Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia.*

Для шельфа с резким свалом глубин получены оценки потенциала снижения межсимвольной интерференции при когерентной звукоподводной связи во время прохождения интенсивных внутренних волн за счет адаптивного выбора частоты.

On a steep oceanic shelf, estimates were obtained for the potential reduction of intersymbol interference by means of adaptive frequency selection in coherent underwater acoustic communication during the passage of intense internal waves.

Ключевые слова: внутренние волны, звукоподводная связь, шельф с резким свалом глубин.

Key words: internal waves, underwater acoustic communications, steep shelf.

На основе численного моделирования с использованием данных натуральных гидрологических измерений на шельфе с резким свалом глубин в районе мыса Сухумский (Абхазия) исследовано влияние прохождения внутренних волн на акустический импульсный отклик и показатели эффективности когерентной звукоподводной связи (ЗПС)

для диапазона частот несущей от 6 до 14 кГц. Исследована возможность повышения качества ЗПС за счет адаптивного выбора частотного диапазона.

В зоне абхазского шельфа встречаются внутренние инерционные волны с существенно большими высотами (до 20 м и более) по сравнению с другими типами шельфов Черного моря, где высоты подобных волн в среднем составляют 5–10 м [1]. Прохождение длинных инерционных внутренних волн сопровождается генерацией короткопериодных внутренних волн [2]. Эти особенности делают крутой узкий шельф уникальной средой как с точки зрения физических характеристик поля внутренних волн, так и с точки зрения распространения акустических сигналов.

На рис. 1 показана цифровая модель рельефа дна в области диаметром ~1.5 км, прилежащей к мысу Сухумский. Модель была построена на основе находящихся в открытом доступе навигационных карт исследуемой акватории, доступных в графическом формате.

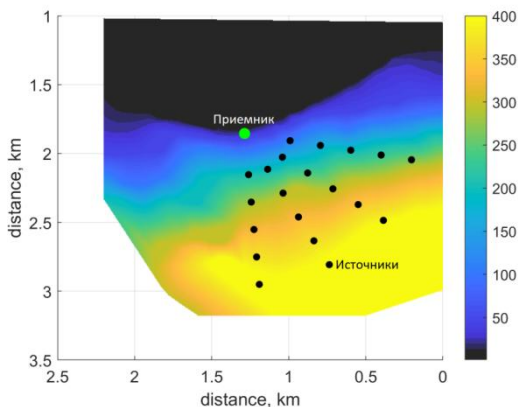


Рис. 1. Модель рельефа в исследуемой акватории и положения источника и приемников. Глубина показана цветом.

Приемник располагался близ мыса в точке с глубиной 21 м в 1 м от дна, а положения источников на глубине 20 м равномерно заполняли акваторию в юго-восточном относительно мыса секторе диаметром ~1 км (рис. 1).

Были рассмотрены профили температуры, зарегистрированные в периоды прохождения квази-инерционных внутренних волн большой амплитуды, термоклин находился на горизонте 15–35 м (рис. 2). Регулярно наблюдались периодические

вертикальные колебания термоклина с периодом, близким к локальному инерционному (17.6 ч). Скорость звука в дне предполагалась равной 1600 м/с, плотность осадочного слоя 1.8 г/см³, коэффициент затухания 0.5 дБ/λ, где λ – длина звуковой волны.

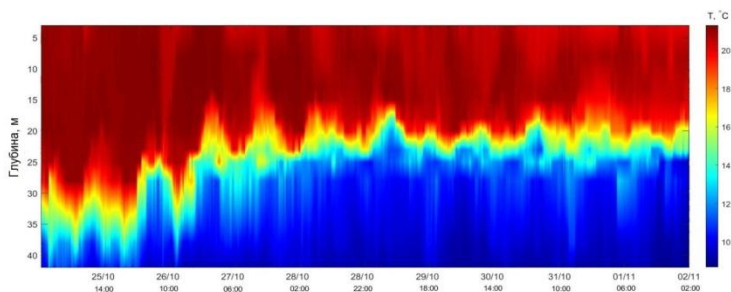


Рис 2. Временная изменчивость вертикальной структуры температуры по данным заякоренной станции в октябре-ноябре 2019 г.

С помощью лучевой программы BELLHOP3D, учитывающей трехмерную структуру рельефа, моделировалось распространение сигналов с двоичной фазовой манипуляцией на несущей частоте от 6 кГц до 14 кГц и скоростью передачи информации 1000 бит/с. Для каждого положения источника на основе результатов моделирования импульсного отклика были рассчитаны величины, характеризующие потенциал снижения уровня межсимвольной интерференции за счет оптимального выбора частоты: $P_{\max} = \max_t (\max_F ISI - \min_F ISI)$ и $P_{80} = \text{prc}80(\max_F ISI - \min_F ISI)$, где t – время, F – частота несущей, ISI – уровень межсимвольной интерференции, $\text{prc}80$ обозначает 80 перцентиль по времени. Результаты оценки данных величин представлены на рис. 3.

Для обширной области положений источника оптимальный выбор несущей частоты практически не дает преимущества ($P_{\max} < 2$ дБ). В то же время, существуют локальные области, в которых за счет особенностей рельефа оптимальный выбор частоты в некоторые моменты времени может привести к снижению уровня интерференции на величины до $P_{\max} > 10$ дБ. Пространственные распределения величины P_{80} имеют схожую с P_{\max} структуру с локализованными областями повышенных значений. Таким образом, можно заключить, что возможность значительного снижения уровня интерференции за счет оптимального выбора частоты на некоторых участках акватории

наблюдается в течение относительно продолжительных периодов времени, а не только в редкие моменты с особенными вертикальными профилями температуры.

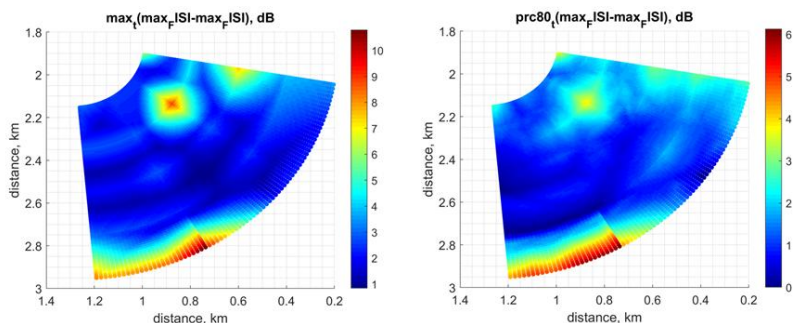


Рис. 3. Пространственное распределение величин P_{\max} и P_{80} , характеризующих потенциал снижения межсимвольной интерференции за счет оптимального выбора частоты несущей.

Для обширной области положений источника оптимальный выбор несущей частоты практически не дает преимущества ($P_{\max} < 2$ дБ). В то же время, существуют локальные области, в которых за счет особенностей рельефа оптимальный выбор частоты в некоторые моменты времени может привести к снижению уровня интерференции на величины до $P_{\max} > 10$ дБ. Пространственные распределения величины P_{80} имеют схожую с P_{\max} структуру с локализованными областями повышенных значений. Таким образом, можно заключить, что возможность значительного снижения уровня интерференции за счет оптимального выбора частоты на некоторых участках акватории наблюдается в течение относительно продолжительных периодов времени, а не только в редкие моменты с особенными вертикальными профилями температуры.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИО РАН, тема FMWE-2024-0024 (рук. Н.А. Римский-Корсаков).

ЛИТЕРАТУРА

1. Химченко Е.Е., Серебряный А.Н. Внутренние волны на кавказском и крымском шельфах Черного моря (по летне-осенним наблюдениям 2011–2016 гг.). Океанологические исследования, 2018.– Т. 46, № 2. – С. 69–87.

2. Серебряный А. Н., Иванов В. А. Исследования внутренних волн в Черном море с океанографической платформы МГИ //Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2013. – Т. 6, №. 3. – С. 34-45.

УДК 53.03, 001.891.5

**ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКЕАНИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ В ЛАБОРАТОРНОМ КОМПЛЕКСТЕ СПБФ ИО
РАН**

Родионов А.А., Шпилев Н.Н., Ванкевич Р.Е.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,
Нахимовский проспект, д. 36, телефон, факс.: +7 (812) 328-50-66 E-
mail: office@spb.ocean.ru*

**PHYSICAL MODELING OF OCEANIC PROCESSES IN THE
LABORATORY COMPLEX OF THE SPBB OF THE IO RAS**

A.A. Rodionov, N.N. Shpilev, R.E. Vankevich

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 117997,
Moscow, Nakhimovsky Prospekt, 36, telephone, fax.: +7 (812) 328-50-66
E-mail: office@spb.ocean.ru*

В СПБФ ИО РАН разрабатывается уникальный лабораторный комплекс в составе гидрофизического и акустического бассейнов и их цифровых копий для изучения процессов распространения акустических сигналов и взаимодействий нестационарных вихре-волновых процессов с подводными объектами в условиях стратифицированного океана.

A unique laboratory and testing complex consisting of hydrophysical and acoustic tanks and their digital copies is under development at the SPBB IO RAS aimed to study the processes of propagation of acoustic signals and the interactions of non-stationary eddy-wave processes with underwater objects in stratified ocean conditions.

Ключевые слова: опытовый бассейн, лабораторное моделирование, гидрофизика, температурная стратификация

Key words: experimental tank, laboratory modeling, hydrophysics, temperature stratification,

Физическое моделирование остается одним из основных методов решения практических (инженерных) и научных задач. Его высокая эффективность общепризнана как в нашей стране, так и в других развитых странах мира. Опыты, поставленные в соответствии с теорией подобия, позволяют с высокой степенью достоверности получать не только качественные, но и количественные характеристики [1].

В СПбФ ИО РАН создан лабораторный комплекс, состоящий из гидрофизического и гидроакустического бассейнов [2-5].

Техническое оснащение гидрофизического бассейна (Рисунок 1а) позволяет создавать многослойную стратификацию сложного профиля. Точное управление термической стратификацией в бассейне обеспечивается с помощью цифровой модели и тонкой настройки холодильного оборудования.

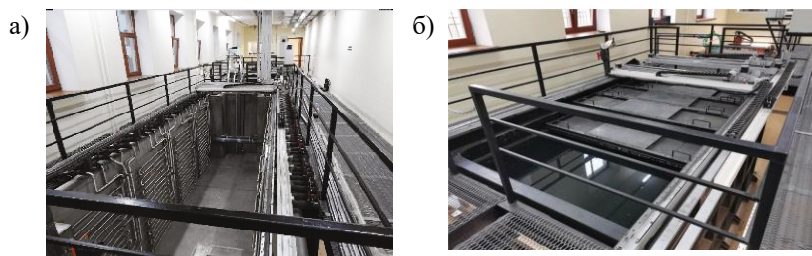


Рисунок 1 – Экспериментальные бассейны СПбФ ИО РАН: а) гидрофизический бассейн; б) гидроакустический бассейн.

Гидроакустический бассейн (рисунок 1б) облицован с внутренней поверхности гидроакустической резиной для обеспечения звукопоглощения. Верхняя плоскость бассейна также перекрывается наборной крышкой из гидроакустической резины той же марки. Это позволяет в полной мере производить исследования новых методов формирования и излучения, а также приёма гидроакустических сигналов. Для снижения влияния внешних техногенных шумовых помех фундамент бассейна развязан относительно фундамента здания, а сам бассейн установлен на амортизаторы. Для оценки заглушенности

бассейна проведены измерения отраженных сигналов от его поверхностей в диапазоне частот от 14 до 30 кГц. В соответствии с формулой оценки качества измерений, значение показателя заглушенности не превысило 0.08, что соответствует удовлетворительной степени заглушенности.

Уникальной особенностью лабораторного комплекса является сопровождение экспериментов численным моделированием, для чего создана цифровая копия бассейна. Цифровая копия обеспечивает надежность и репрезентативность физического эксперимента, а также позволяет экстраполировать верифицированные опытным путем зависимости на масштабы и режимы течений реального океана. Результаты верификации модели установления стратификации в составе цифровой копии по данным контрольного эксперимента приведены на рисунке 2 (среднеквадратичное значение разности измеренных и рассчитанных данных составило около $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$).

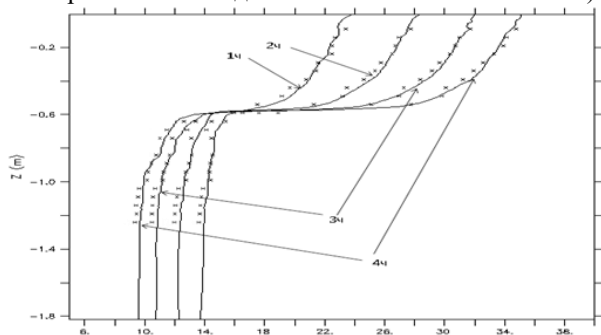


Рис. 2. Расчетные (сплошные кривые) и измеренные (символы) значения распределения температуры в центре бассейна для 1-4 часов работы оборудования (указаны цифрами)

Результатом моделирования является четкая, объемная, динамическая картина нестационарных процессов внутри бассейна, дающая информацию для проектирования систем мониторинга океана, разработки новых принципов построения гидрофизических комплексов и т.п.

Также в гидрофизическом бассейне проводилась верификация численного моделирования генерации и эволюции вихревых колец. На моделирующем стенде в гидрофизическом бассейне (при выраженной стратификации с вертикальным температурным градиентом более $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$) получены расчетные соотношения, описывающие процессы формирования и эволюции вихревых колец, формируемых затопленной струей. Результаты математического моделирования удовлетворительно соответствуют результатам, полученным в опыте.

Установлено, что в определенных условиях (при безразмерной длине струи, формирующей кольцо 10 и менее) массообмен с окружающей водной средой оказывается малым и кольцо сохраняет свою форму в течении длительного времени, незначительно увеличивая свои размеры.

Специальная работа по выполнению натуральных измерений волн, вихрей и турбулентных течений для верификации используемых гидродинамических моделей требует ресурсов и времени, а также имеет очевидные ограничения. Получение данных лабораторных измерений для верификации и настройки математических моделей может дополнять натурные измерения. Совместные лабораторные и численные эксперименты направлены на совершенствование методов и систем мониторинга Мирового океана. В частности, результаты исследований могут быть использованы при проектировании и «обучении» автономных подводных аппаратов, совершенствования методов построения систем подводной связи и навигации.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Тлявлиная Г.В. Лабораторные и натурные исследования в обеспечение развития нормативной базы и безопасности транспортных сооружений в условиях волнового воздействия / Г. В. Тлявлиная // Транспортные сооружения. — 2022. — Т 9. — № 4 — DOI: 10.15862/10SATS422. (дата обращения: 11.08.2024).
2. Родионов А.А., Ванкевич Р.Е., Лобанов А.А., Глитко О.В., Шпилев Н.Н. Термостратифицированный бассейн Санкт-Петербургского филиала Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН для моделирования гидрофизических процессов // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2024. Т. 17. № 4.
3. Монахов Р.Ю., Родионов А.А., Капранов И.Е., Шпилев Н.Н., Яковчук М.С. Численное и физическое моделирование генерации и эволюции вихревых колец в крупномасштабном гидрофизическом бассейне//*Фундамент. и прикладная гидрофизика*. 2024. Т.17. № 4.
4. Ванкевич Р.Е., Родионов А.А., Лобанов А.А., Филин К.Б., Шпилев Н.Н. Цифровая копия термостратифицированного бассейна Санкт-Петербургского филиала Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2024. Т. 17. № 4.
5. Родионов А.А., Никитин Д.А., Филин К.Б., Шпилев Н.Н., Паничева Е.Д. Гидроакустический заглушенный бассейн Санкт-Петербургского филиала Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2024. Т. 17. № 4.

УДК 551.46.08

**МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ В БУХТЕ БЛАГОПОЛУЧИЯ (СОЛОВЕЦКИЕ
ОСТРОВА, БЕЛОЕ МОРЕ) В ЛЕТНИЙ СЕЗОН 2024 Г.**

Здоровеннов Р.Э., Толстиков А.В.

*Институт водных проблем Севера Карельского научного центра
РАН,
185910, Петрозаводск, Пушкинская ул., 11, +7 (8142) 76-60-40,
romga74@gmail.com*

**MEASUREMENT METHODS OF HYDROPHYSICAL PARAMETERS
IN THE BAY OF BLAGOPOLUCHIYE (SOLOVETSKY ISLANDS,
WHITE SEA) IN THE SUMMER SEASON OF 2024**

Zdorovennov R.E., Tolstikov A.V.

*¹Northern water problems Institute Karelian Research Center, Russian
Academy of Sciences, 11, Pushkinskaya ul., Petrozavodsk, 185910, Russia.*

Приводятся методики измерений гидрофизических параметров (температура, соленость воды, течения, потоки солнечной радиации) в бухте Благополучия (Соловецкие острова, Белое море) в августе 2024 г.

The methods for measuring hydrophysical parameters (water temperature, water salinity, currents, solar radiation fluxes) in Blagopoluchiya Bay (Solovetsky Islands, White Sea) in August 2024 are presented.

Ключевые слова: Белое море, автономные станции, методы исследования, температура воды, течения.

Key words:

White Sea, autonomous stations, research methods, water temperature, currents.

В августе 2024 г. сотрудники Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН в рамках темы НИР «Состояние прибрежной экосистемы Белого моря в пределах

Соловецкого архипелага» провели комплексные междисциплинарные исследования прибрежной акватории Соловецкого архипелага Белого моря (бухта Благополучия). Авторы доклада представляют методики измерений гидрофизических параметров в рамках этих исследований.

В акватории бухты были установлены автономные станции для измерения течений и температуры воды, а также были выполнены площадные съемки и разрез путем зондирования водной толщи на разных фазах прилива (рис. 1). Сложность выбора мест для установки автономных станций была связана с тем, что в акватории бухты осуществляется интенсивное судоходство.

На рис. 1 приведена схема станций измерений гидрофизических параметров в акватории бухты 15-20 августа 2024 г.

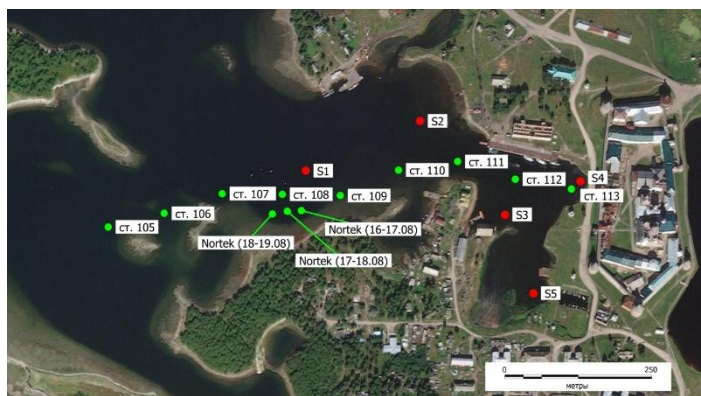


Рис. 1. Схема положения станций измерений в бухте Благополучия: ст. S1-S5 – зондирования в разных районах бухты; ст. 105-113 – зондирования на разрезе; Nortek – автономные станции измерения течений и температуры воды.

Зондирования водной толщи выполнены на станциях 17 августа 2024 г. на малой (11:00-12:50) и полной (16:52-17:57) воде. Зондирования также проведены на приливе 18 августа 2024 г. с 13:35 по 13:52 и на отливе 19 августа 2024 г. с 9:52 по 9:51. Фазу прилива определяли с использованием программы WXTide32 (v. 4.7). При зондированиях использовалось современное высокочувствительное оборудование – мультипараметрические зонды CTD-90m и RBR-Concerto. Измеряемые параметры – температура, соленость, мутность воды, потоки солнечной радиации в водной толще. Зондирования выполняли с борта надувной лодки. Сложность выполнения

зондирований заключалась в том, что вследствие парусности надувной лодки она смещалась относительно станций измерений при усилении ветра, что требовало корректировки ее положения с использованием GPS-навигатора.

На автономных станциях устанавливали акустический доплеровский профилограф течений Aquadopp Nortek Profiler HR (ADCP). Прибор устанавливали в придонный слой, излучатель прибора был направлен вверх (рис. 2). Прибор крепился к якорю; для сохранения вертикального положения корпуса прибора в его верхней части была размещена пластина (рис. 2, 3), обладающая положительной плавучестью.

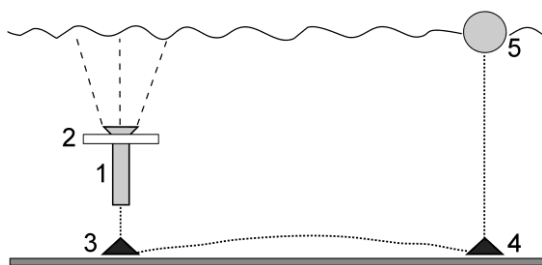


Рис. 2. Схема установки прибора ADCP на автономной станции: 1 – корпус ADCP, 2 – пластина, обладающая положительной плавучестью, 3 – якорь прибора, 4 – дополнительный якорь, 5 – буй дополнительного якоря.

Дополнительный якорь был выведен на расстояние 20 м от места установки прибора ADCP (рис. 2), на поверхности воды место установки дополнительного якоря было помечено буйком (рис. 3).

Было выполнено три серии измерений ADCP в период с 16 по 19 августа 2024 г. (см. рис. 1). В первой постановке использовались следующие приборные установки ADCP: периодичность включения прибора 5 минут, продолжительность измерений – 60 сек, количество ячеек – 14 шт., размер ячейки – 50 см. Во второй и третьей постановках периодичность включения прибора была сокращена до одной минуты, продолжительность измерений осталась прежней, количество ячеек увеличено до 28 шт., их размер уменьшен до 25 см. Во всех трех постановках использовалась координатная система ENU, прибор выдавал значение трех компонент скорости. По этим данным были построены прогрессивно-векторные диаграммы, что позволило оценить возможные смещения частиц в приливном цикле.

В летний сезон 2025 г. запланировано проведение измерений

гидрофизических параметров на разных фазах прилива на станциях мониторинга в бухте Благополучия. Запланировано увеличение продолжительности измерений течений до нескольких суток, что позволит уточнить особенности остаточной приливной циркуляции в акватории бухты Благополучия, испытывающей существенное антропогенное воздействие (сточные воды МО «Сельское поселение Соловецкое», нефтепродукты наземного и водного транспорта) [1]. Изучение течений и распределения мутности важно с точки зрения установления возможных направлений переноса сточных вод, осаждения и накопления взвешенного вещества.



Рис. 3. Слева – прибор ADCP до установки в придонный слой бухты, справа – буй дополнительного якоря на поверхности бухты Благополучия.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИВПС КарНЦ РАН «Состояние прибрежной экосистемы Белого моря в пределах Соловецкого архипелага» FMEN 2024-0016.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Стратегия развития Соловецкого архипелага – уникального объекта, духовного, историко-культурного и природного наследия, как самостоятельного компонента Стратегии социально-экономического развития Архангельской области до 2030 года. (принята Распоряжением правительства Архангельской области от 16.07.2013 г № 310-ПП).

УДК 532.5

НЕЯВНЫЕ СХЕМЫ РАСЩЕПЛЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИ МЕЛКОЙ ВОДЫ, СОХРАНЯЮЩИЕ ПОЛНУЮ ЭНЕРГИЮ И МАССУ

Скиба Ю. Н.

*Национальный Автономный Университет Мексики,
Ав. Универсидад #3000, Мехико, 04510, Мексика,
skiba@unam.mx*

IMPLICIT SPLITTING SCHEMES CONSERVING TOTAL ENERGY AND MASS IN THE SHALLOW WATER MODEL

Skiba Y. N.

*Universidad Nacional Autónoma de México,
Av. Universidad #3000, CU/UNAM, Mexico City, 04510, México,
skiba@unam.mx*

Построены линейные и нелинейные неявные безусловно устойчивые конечно-разностные схемы второго порядка аппроксимации для модели мелкой воды. Метод расщепления уравнений модели используется для сохранения энергии и массы в полностью дискретных системах.

Linear and nonlinear implicit unconditionally stable finite-difference schemes of the second-order approximation are given for a shallow-water model. The splitting the model equations is used to conserve the energy and mass in fully discrete systems.

Ключевые слова: модель мелкой воды, неявные схемы, сохранение энергии и массы

Key words: shallow water model, implicit schemes, conservation of total energy & mass

1. Модель мелкой воды

Классическую систему уравнений мелкой воды можно записать в виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv &= -g \frac{\partial h}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fv &= -g \frac{\partial h}{\partial y} \\ \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uH) + \frac{\partial}{\partial y}(vH) &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

[3,4], где $u(x, y, t)$ и $v(x, y, t)$ - компоненты вектора скорости, $f = f_0 + \beta y$ - параметр

Кориолиса, $h(x, y, t)$ - высота свободной поверхности, $h_T(x, y)$ - высота рельефа дна,

и $H(x, y, t) = h(x, y, t) - h_T(x, y)$. Система (1) рассматривается в периодическом (по x) канале $D = \{(x, y): 0 \leq x \leq X; 0 \leq y \leq Y\}$ и

$$v(x, 0, t) = v(x, Y, t) = 0 \quad \text{at } y = 0 \text{ and } y = Y \quad (2)$$

Система (1)-(2) сохраняет массу M и полную энергию E :

$$\frac{d}{dt} M(t) = \frac{d}{dt} \int_D h dD = 0, \quad \frac{d}{dt} E(t) = \frac{d}{dt} [K(t) + P(t)] = 0 \quad (3)$$

где $K = \int_D \{0.5(u^2 + v^2)H\} dD$ и $P = \int_D \{0.5g(h^2 - h_T^2)\} dD$ - кинетическая и потенциальная энергии соответственно. Сохранение энергии и энтропии предотвращает ложный каскад энергии к высоким волновым числам [1]. Однако численные схемы, предложенные в [1,4,5,6], сохраняют энергию и энтропию только в дискретной по пространству (и все еще непрерывной по времени) форме.

2. Модифицированные уравнения мелкой воды

В переменных $Z = \sqrt{H}$, $U = Zu$, $V = Zv$, система (1) представляется в виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial}{\partial x}(uU) + u \frac{\partial U}{\partial x} \right] + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial}{\partial y}(vU) + v \frac{\partial U}{\partial y} \right] - fV &= -gZ \frac{\partial h}{\partial x} \\ \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial}{\partial x}(uV) + u \frac{\partial V}{\partial x} \right] + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial}{\partial y}(vV) + v \frac{\partial V}{\partial y} \right] + fU &= -gZ \frac{\partial h}{\partial y} \\ \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(ZU) + \frac{\partial}{\partial y}(ZV) &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Умножая уравнения системы (4) на U , V и gh соответственно, интегрируя полученные уравнения по D и суммируя результаты, приходим к закону сохранения энергии (см. (3))

$$\frac{d}{dt} \int_D \left[0.5(U^2 + V^2)H + 0.5g h^2 \right] dD = 0 \quad (5)$$

Первый закон (3) справедлив и для системы (4). Главным преимуществом системы (4) перед системой (1) является «дивергентная форма» ее уравнений.

3. Расщепление оператора модели

Поскольку реализация многомерных неявных схем требует большого объема вычислений на каждом малом временном интервале, используем геометрическое расщепление задачи (4) на две задачи [2]. Расщепим систему (4) на малом временном интервале (t_1, t_2) . Сначала решается подсистема

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial}{\partial x} (uU) + u \frac{\partial U}{\partial x} \right] - \frac{1}{2} fV = -gZ \frac{\partial h}{\partial x} \quad (6)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial}{\partial x} (uV) + u \frac{\partial V}{\partial x} \right] + \frac{1}{2} fU = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (ZU) = 0 \quad (8)$$

с начальными условиями $U(t_1)$, $V(t_1)$ и $H(t_1)$. Затем ее решение $U(t_2)$, $V(t_2)$ и $H(t_2)$

служит начальным условием при $t = t_1$ для решения на (t_1, t_2) подсистемы

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial}{\partial y} (vU) + v \frac{\partial U}{\partial y} \right] - \frac{1}{2} fV = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial}{\partial y} (vV) + v \frac{\partial V}{\partial y} \right] + \frac{1}{2} fU = -gZ \frac{\partial h}{\partial y} \quad (10)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} (ZV) = 0 \quad (11)$$

Причем, при $t = t_2$, решение подсистемы (9)-(11) аппроксимирует решение нерасщепленной системы (4). Легко показать, что законы сохранения (3) выполняются для каждой из расщепленных систем (6)-(8) и (9)-(11).

4. Неявные схемы сохраняющие полную энергию и массу

В данной работе предложены три неявные схемы (одна нелинейная и две линейные), которые обеспечивают сохранение энергии и массы в полностью дискретной форме. Следует отметить, что линейные схемы имеют второй порядок аппроксимации по всем переменным. Введем

сеточные функции в узлах (x_i, y_j, t_n) и обозначим $\tau = t_{n+1} - t_n$, $\Delta x = x_{i+1} - x_i$, $\Delta y = y_{j+1} - y_j$, $f_j = f(y_j)$, $R_{ij}^n = R(x_i, y_j, t_n)$ где R - это одна из функций u, v, h, Z, U, V или H . Обозначим

$$R_{ij} = 0.5(R_{ij}^{n+1} + R_{ij}^n) \quad (12)$$

На каждом интервале (t_n, t_{n+1}) и для каждого фиксированного y_j система (9)-(11) решается используя неявную схему

$$\frac{U_i^{n+1} - U_i^n}{\tau} + \frac{1}{2} \left[\frac{\bar{u}_{i+1} U_{i+1} - \bar{u}_{i-1} U_{i-1}}{2\Delta x} + \bar{u}_i \frac{U_{i+1} - U_{i-1}}{2\Delta x} \right] - \frac{1}{2} f_j V_i = -g \bar{Z}_i \frac{h_{i+1} - h_{i-1}}{2\Delta x} \quad (13)$$

$$\frac{V_i^{n+1} - V_i^n}{\tau} + \frac{1}{2} \left[\frac{\bar{u}_{i+1} V_{i+1} - \bar{u}_{i-1} V_{i-1}}{2\Delta x} + \bar{u}_i \frac{V_{i+1} - V_{i-1}}{2\Delta x} \right] + \frac{1}{2} f_j U_i = 0 \quad (14)$$

$$\frac{H_i^{n+1} - H_i^n}{\tau} + \frac{\bar{Z}_{i+1} U_{i+1} - \bar{Z}_{i-1} U_{i-1}}{2\Delta x} = 0 \quad (15)$$

Функции U , V и h определены формулой (12), а фиксированный подстрочный индекс j опускается для простоты обозначения. Далее, для каждого фиксированного x_i , сеточные функции U_{ij}^{n+1} , V_{ij}^{n+1} и H_{ij}^{n+1} (решения (13)-(15)) служат начальными условиями для решения на интервале (t_n, t_{n+1}) неявной схемы

$$\frac{U_j^{n+1} - U_j^n}{\tau} + \frac{1}{2} \left[\frac{\bar{v}_{j+1} U_{j+1} - \bar{v}_{j-1} U_{j-1}}{2\Delta y} + \bar{v}_j \frac{U_{j+1} - U_{j-1}}{2\Delta y} \right] - \frac{1}{2} f_j V_j = 0 \quad (16)$$

$$\frac{V_j^{n+1} - V_j^n}{\tau} + \frac{1}{2} \left[\frac{\bar{v}_{j+1} V_{j+1} - \bar{v}_{j-1} V_{j-1}}{2\Delta y} + \bar{v}_j \frac{V_{j+1} - V_{j-1}}{2\Delta y} \right] + \frac{1}{2} f_j U_j = -g \bar{Z}_j \frac{h_{j+1} - h_{j-1}}{2\Delta y} \quad (17)$$

$$\frac{H_j^{n+1} - H_j^n}{\tau} + \frac{\bar{Z}_{j+1} U_{j+1} - \bar{Z}_{j-1} U_{j-1}}{2\Delta y} = 0 \quad (18)$$

(фиксированный подстрочный индекс i также опущен) с граничными условиями

$$\frac{1}{2}(V_0 + V_1) = 0, \quad \frac{1}{2}(V_J + V_{J+1}) = 0, \quad \frac{1}{2}(\bar{v}_0 + \bar{v}_1) = 0, \quad \frac{1}{2}(\bar{v}_J + \bar{v}_{J+1}) = 0,$$

$$\bar{Z}_0 = \bar{Z}_1, \quad h_0 = h_1, \quad \bar{Z}_{J+1} = \bar{Z}_J, \quad h_{J+1} = h_J$$

Решение U_{ij}^{n+1} , V_{ij}^{n+1} и H_{ij}^{n+1} схемы (16)-(18) затем служит начальным условием для решения схем (13)-(15) и (16)-(18) на интервале (t_{n+1}, t_{n+2}) . Выбор функций \bar{u}_{ij} , \bar{v}_{ij} и \bar{Z}_{ij} позволяет построить три разных схемы:

(а) Если $\bar{u}_{ij} = u_{ij}$, $\bar{v}_{ij} = v_{ij}$, $\bar{Z}_{ij} = Z_{ij}$ то схемы (13)-(18) нелинейные.

(б) Если $\bar{u}_{ij} = u_{ij}^n$, $\bar{v}_{ij} = v_{ij}^n$, $\bar{Z}_{ij} = Z_{ij}^n$ то схемы (13)-(18) линейные.

Здесь u_{ij}^n, v_{ij}^n и Z_{ij}^n - решения, полученные на интервале (t_{n-1}, t_n) .

(с) Если $\bar{u}_{ij} = \sum_{k,m} \alpha_{km}^n(ij)u_{km}^n$, $\bar{v}_{ij} = \sum_{k,m} \beta_{km}^n(ij)v_{km}^n$, $\bar{Z}_{ij} = \sum_{k,m} \gamma_{km}^n(ij)Z_{km}^n$ то схемы

(13)-(18) тоже линейные. Здесь $\alpha_{km}^n, \beta_{km}^n$ и γ_{km}^n - интерполяционные коэффициенты для сглаживания функций $\bar{u}_{ij}, \bar{v}_{ij}$ и \bar{Z}_{ij} и подавления ложных колебаний, вызываемых использованием центральных разностей: $\sum_{k,m} \alpha_{km}^n(ij) = 1$, $\sum_{k,m} \beta_{km}^n(ij) = 1$, $\sum_{k,m} \gamma_{km}^n(ij) = 1$.

При любом выборе ((а), (b) или (с)) схемы (13)-(15) и (16)-(18) сохраняют массу и полную энергию. Поэтому эти схемы безусловно устойчивы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Arakawa, A., Lamb, V.R. A potential enstrophy and energy conserving scheme for the shallow-water equations. Mon. Wea. Rev., 1981, 109 (1), 18-36.
2. Marchuk, G.I. Methods of Numerical Mathematics. Springer-Verlag, NY, 1982.
3. Pedlosky, J. Geophysical Fluid Dynamics. Springer, NY, 1979.
4. Sadourny, R. The dynamics of finite-difference models of the shallow-water equations. J. Atmos. Sci., 1975, 32 (4), 680-689.
5. Salmon, R. Poisson-bracket approach to the construction of energy- and potential enstrophy-conserving algorithms for the shallow-water equations. J. Atmos. Sci., 2004, 61, 2016-2036.
6. Vreugdenhil, C.B. Numerical Methods for Shallow-Water Flow. Kluwer, 1994.

ГЕОЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА, РЕСУРСЫ

УДК 551.35

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ГРУНТОВЫХ ПРОБООТБОРНИКОВ

Колесник А.Н., Босин А.А., Колесник О.Н., Янченко Е.А.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
ДВО РАН, 690041, Владивосток, ул. Балтийская, 43,
kolesnik_a@poi.dvo.ru*

A TESTING FLOOR FOR SEDIMENT SAMPLERS

Kolesnik A.N., Bosin A.A., Kolesnik O.N., Yanchenko E.A.

*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch,
Russian Academy of Sciences, 43, Baltiyskaya Str., Vladivostok,
690041, kolesnik_a@poi.dvo.ru*

Представлены материалы по испытательному стенду, организованному в ТОИ ДВО РАН (Владивосток) для проверки, ремонта и модернизации оборудования, специализирующегося на отборе проб донных отложений, а также для проведения соответствующих демонстрационно-обучающих программ.

Information on a testing floor organized at the POI FEB RAS (Vladivostok) for checking, repairing and upgrading equipment specializing in sampling bottom sediments, as well as for conducting relevant demonstration and training programs is given.

Ключевые слова: испытательный стенд, донные осадки, грунтовые пробоотборники, морские экспедиции, техника безопасности, обучение, морская геология, океанология

Key words: testing floor, bottom sediments, sediment samplers, marine expeditions, accidents prevention, training, marine geology, oceanography

На технической базе ТОИ ДВО РАН организован испытательный стенд. Основная цель – визуальный контроль работы наиболее распространенных грунтовых пробоотборников (трубка, боксорер,

мультикорер) в условиях, приближенных к экспедиционным.

Испытательный стенд занимает пространство площадью 6×6 м² и рабочей высотой 3.64 м под навесом здания зернохранилища и частично имитирует рабочие условия кормовой части главной палубы научно-исследовательского судна. В качестве П-рамы, находящейся в неподвижном состоянии, выступает несущая железобетонная балка и опора козырька зернохранилища. На балке установлена площадка, к которой приварены стальные скобы. На них закреплено такелажное оборудование – поворотный блок грузоподъемностью 6 т для пропускания троса от лебедки. Используется электрическая лебедка отечественного производства мощностью 2200 Вт и грузоподъемностью 500 кг. С помощью разъемного соединения она установлена на крыше контейнера-рефрижератора на высоте 2.5 м над землей и на расстоянии 6 м от железобетонной балки. Трос диаметром 6 мм и длиной 100 м, предельная разрывная нагрузка которого составляет 2029 кг, а рабочая – 428 кг, подается на ролик блока и позволяет использовать лебедку в различных испытаниях и экспериментах.

При введении испытательного стенда в эксплуатацию стало возможным эффективно проводить ремонт, отлаживать и модернизировать имеющееся оборудование, конструировать новое, заблаговременно отрабатывать коллективную работу персонала во время спуско-подъемных работ на палубе с соблюдением правил техники безопасности, проводить экскурсии ознакомительного и образовательного характера.

За время функционирования испытательного стенда:

- 1) разработана, изготовлена, оптимизирована на стенде, запатентована и апробирована в условиях морской экспедиции новая модификация гравитационной грунтовой трубки с характеристиками, обеспечивающими более высокую эффективность и качество пробоотбора по сравнению со стандартной гравитационной грунтовой трубкой [1];
- 2) разработан, изготовлен и оптимизирован на стенде новый сбросовый рычаг-коромысло для грунтовой трубки на основе рычага первого рода Ньютона [2], увеличивающий скорость и, соответственно, глубину внедрения пробоотборника в донный осадок;
- 3) из числа аспирантов ТОИ ДВО РАН, обучающихся по направлению «Науки о Земле», подготовлены новые кадры для выполнения палубных геологических работ;
- 4) проведены экскурсии для студентов, обучающихся по совместной магистерской программе ТОИ ДВО РАН и ИМО ДВФУ

(Владивосток).

Работа выполнена за счет средств Минобрнауки России, тема «Палеоокеанология морей северо-востока России, Северного Ледовитого и Тихого океанов, современное и мезозойско-кайнозойское осадкообразование, магматизм и рудообразование» (рег. № 124022100084-8).

ЛИТЕРАТУРА

1. Kolesnik, A. N. Modified gravity corer: Advantages and offshore testing / A. N. Kolesnik, O. N. Kolesnik, S. A. Selyutin, A. A. Bosin, A. S. Astakhov // *Oceanology*. – 2024. – Vol. 64. – No. 4. – P. 629–637.
2. Kullenberg, B. The piston core sampler / B. Kullenberg. – Gøteborg: Elanders Boktryckeri Aktiebolag, 1947. – 44 p.

УДК 550.34

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДАЛЬНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ РАЗНЫХ МАГНИТУД ПО ЗАПИСЯМ ДОННОГО СЕЙСМОГРАФА

Ковачев С.А., Крылов А.А., Егоров А.В., Либина Н.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117997, Москва, Нахимовский пр. 36
+7 (916) 235 4029, kovachev@ocean.ru*

METHODOLOGY FOR ESTIMATING THE RANGE OF REGISTRATION OF EARTHQUAKES OF DIFFERENT MAGNITUDES FROM BOTTOM SEISMOGRAPH RECORDS

Kovachev S.A., Krylov A.A., Egorov A.V., Libina N.V.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences
36, Nahimovsky Prospect, Moscow, Russia, 117997*

В настоящей работе описана методика определения эффективности работы донного сейсмографа, выраженной в оценке возможности регистрировать землетрясения определенной магнитуды на определенном расстоянии.

This paper describes a methodology for determining the effectiveness of the bottom seismograph, expressed in the assessment of the ability to record earthquakes of a certain magnitude at a certain distance.

Ключевые слова: сейсмограф, дальность регистрации землетрясений
Key words: seismograph, earthquake recording range

Оценка дальности регистрации для сейсмографа, работавшего на дне Северного Каспия, была сделана по методике, описанной в работах [1,5,7,11,12]. Микросейсмичность региона представлена в работах [2,3,4,6]. Мониторинг микроземлетрясений проводился по методике, описанной в работах [8,9,10]. Результаты по дальности регистрации землетрясений представлены на рис. 1. Из рисунка видно, что зарегистрированные землетрясения попадают в наклонную полосу на плоскости с координатами $lg\Delta$ и M_L (зеленые кружки на рис. 2).

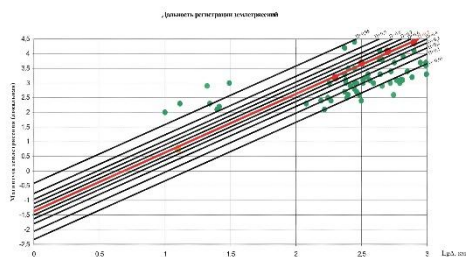


Рис. 1. Экспериментальные данные о дальности регистрации землетрясений различной магнитуды (зеленые кружки), красные кружки - точки с координатами $lg\Delta$ и M_L , красная линия - регрессия для точек $lg\Delta$ и M_L , черные линии - определяют дальность регистрации при разных уровнях представительности Π .

Как следует из рис. 2, существует переходная зона, где представительность регистрации (отношение числа зарегистрированных землетрясений к числу произошедших) изменяется от 0 до 1.

Представляется естественным (и подтверждается видом гистограмм на рис. 2) аппроксимировать представительность регистрации на внешней

границе области регистрации функцией вида $\Pi = \frac{1}{2} \Phi\left(\frac{M_L - \bar{M}_L}{\sqrt{2\pi}}\right)$, где

$\Phi(x)$ — функция интеграла ошибок:

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-y^2} dy$$

Такой вид будет принимать функция Π , если принять, что магнитуда однозначно связана с амплитудой коды сейсмической волны, превышающей шум (как и в случае ее определения по одной станции) и что амплитуда сейсмического шума распределена по логарифмически нормальному закону:

$$p(\lg A_{ш}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sigma_{ш}} e^{-\frac{(\lg A_{ш} - \bar{\lg A}_{ш})^2}{2\sigma_{ш}^2}}$$

Тогда относительное число зарегистрированных землетрясений магнитудой M_L , т.е. коды которых превышает амплитуду сейсмического шума, будет:

$$\Pi(M_L) = \frac{1}{2} \Phi\left(\frac{M_L - \bar{M}_L}{\sqrt{2}\sigma}\right), (\sigma = 2\sigma_{ш})$$

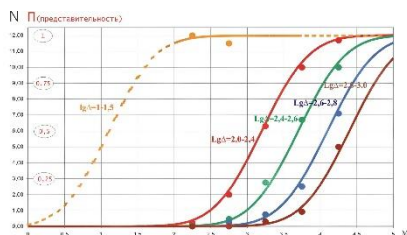


Рис. 2. Гистограммы распределения числа землетрясений вдоль оси M_L с учетом графика повторяемости и площади района (кружки) и их выравнивание с помощью кривых интеграла ошибок (кривые), оранжевая кривая в расчетах не учитывалась (ненадежные данные)

Красные точки с координатами $\lg \Delta$ и M_L на рис. 1 отвечают представительности регистрации $\Pi=0,5$. По этим точкам можно рассчитать прямые регрессии $M_L = (2,00 \pm 0,16) \times \lg \Delta - (1,37 \pm 0,41)$. Т.е. получена прямая для уровня микросейсм, который соответствует представительности регистрации $\Pi=0,5$ (красная линия на рис. 1). Из рис. 1 следует, что, например при $\Delta=100$ км,

прибор должен записывать половину землетрясений с магнитудой 2.5, 80% с магнитудой 3.0 и 20% с магнитудой 2.

Работа выполнена при поддержке РФФ по Проекту No. 23–17–00125 (разработка методики) и Государственному заданию № FMWE-2024-0018 (обработка данных эксперимента).

ЛИТЕРАТУРА

1. Букина К.И., Виллемсон Л.Х., Ковачев С.А., Соловьев С.Л. Амплитудные кривые объемных волн байкальских землетрясений по наблюдениям автономных донных сейсмографов // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1983. № 3. С. 82-87.
2. Ковачев С.А., Казьмин В.Г., Кузин И.П., Лобковский Л.И. Новые данные по сейсмичности Среднего Каспия и их возможная тектоническая интерпретация // Геотектоника. 2006. № 5. С. 50-60.
3. Ковачев С.А., Казьмин В.Г., Кузин И.П., Лобковский Л.И. Новые данные о мантийной сейсмичности Каспийского региона и их геологическая интерпретация // Геотектоника. 2009. № 3. С. 30-44.
4. Ковачев С.А., Крылов А.А. Результаты мониторинга микроземлетрясений в районе нефтегазовых структур в акватории Северного Каспия // В книге: Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ. Сборник тезисов Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Российского государственного гидрометеорологического университета. 2020. С. 608-610.
5. Ковачев С.А., Кузин И.П., Соловьев С.Л. О сейсмичности глубоководной впадины Тирренского моря в районе горы Вавилова по наблюдениям донных сейсмографов // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1991. № 2. С. 60-67.
6. Крылов А.А., Ковачев С.А. Сейсмологический мониторинг и донные инженерно-сейсмологические изыскания на морских нефтегазовых месторождениях на примере Северного Каспия // В сборнике: ГеоЕвразия 2018. Современные методы изучения и освоения недр Евразии. Труды Международной геолого-геофизической конференции. 2018. С. 734-737.
7. Соловьев С.Л., Букина К.И., Виллемсон Л.Х., Ковачев С.А. Дальность регистрации землетрясений Байкальской зоны донными сейсмич. станциями // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1984. № 6.
8. Соловьев С.Л., Ковачев С.А., Кузин И.П. Пространственное распределение микроземлетрясений во фронтальной части

- Эллинской дуги по наблюдениям донных сейсмографов // Геотектоника. 1991. № 2. С. 76-83.
9. Соловьев С.Л., Ковачев С.А., Мишарина Л.А., Уфимцев Г.Ф. Сейсмоактивность поперечных нарушений в Ольхоно-Святоносской зоне озера Байкал // ДАН. 1989. Т. 309. № 1. С. 61-64.
 10. Соловьев С.Л., Контарь Е.А., Дозоров Т.А., Ковачев С.А. Глубоководная донная самовсплывающая сейсмологическая станция АДС-8 // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1988. № 9. С. 75-85.
 11. Kovachev S.A., Kuzin I.P., Shoda O.Yu., Soloviev S.L. Attenuation of S-waves in the lithosphere of the Sea of Crete according to OBS observations // PEPI. 1991. Т. 69. № 1-2. С. 101-111.
 12. Soloviev S.L., Bukina K.I., Kovachev S.A., Villemson L.Kh. Long-range propagation of short-period transversal and longitudinal seismic waves in the Baikal zone // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1987. Vol. 88. N 1. P. 125-137.

УДК 550.34

ОЦЕНКА ДОБРОТНОСТИ ЛИТОСФЕРЫ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ ПО ЗАПИСЯМ СЕЙСМОСТАНЦИИ ТИКСИ

Ковачев С.А., Крылов А.А., Либина Н.В., Миронюк С.Г.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117997, Москва, Нахимовский пр. 36
+7 (916) 235 4029, kovachev@ocean.ru*

ESTIMATION OF THE QUALITY FACTOR OF THE LAPTEV SEA LITHOSPHERE FROM TIXI SEISMIC STATION

Kovachev S.A., Krylov A.A., Libina N.V., Mironyuk S.G.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences
36, Nahimovsky Prospect, Moscow, Russia, 117997*

В настоящей работе для определения добротности литосферы моря Лаптевых и Северной Якутии использовались записи землетрясений, полученные сейсмостанцией Тикси, и метод нормализации по коде.

In this work, earthquake records obtained by the Tiksi seismic station and the coda normalization method were used to determine the quality factor of the lithosphere of the Laptev Sea and Northern Yakutia.

Ключевые слова: добротность литосферы, море Лаптевых, Тикси
Key words: lithosphere quality factor, Laptev Sea, Tiksi

Для описания затухания обычно используется безразмерный параметр Q (добротность), который определяется как отношение энергии волны к энергии, потерянной за один цикл колебания. Добротность земной коры акватории моря Лаптевых и Северной Якутии определялась с использованием записей землетрясений, полученных сейсмической станцией Тикси. Было отобрано 60 землетрясений (рис. 1), зарегистрированных в период наблюдения с 1998 по 2024 гг. с высоким отношением сигнал/шум. Диапазон магнитуд этих сейсмических сигналов составил от 1.8 до 5.1. Диапазон эпицентральных расстояний до сейсмической станции Тикси равнялся 30 – 750 км.

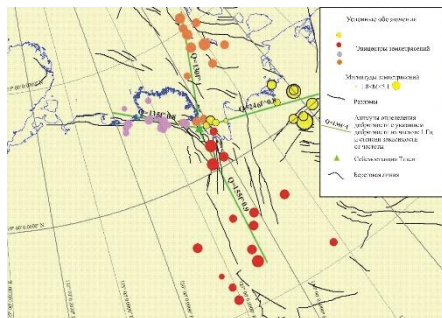


Рис.1. Эпицентра землетрясений моря Лаптевых и Северной Якутии, использованные для определения добротности.

Способ определения добротности методом нормализации по коде и альтернативные методы описаны в работах [1,6,7,8,10].

Были выбраны 4 группы землетрясений, волны от которых приходили на сейсмостанцию Тикси с четырех направлений: север, запад, юг и восток. Для каждого сигнала землетрясения во всех 4-х группах была выполнена фильтрация. Затем вычислялись осредненные спектры Фурье во временных окнах для обработки S-волн и коды (см. рис. 2).

Затем рассчитывались средние значения спектральных составляющих для каждого окна.

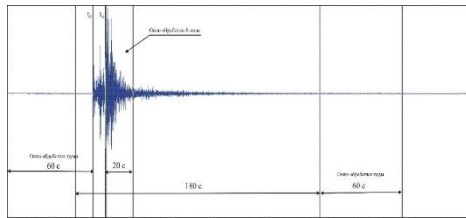


Рис. 2 Запись землетрясения сейсмостанции Тикси, показаны временные окна обработки сигнала и коды

Были получены зависимости логарифмов отношений осредненных спектральных амплитуд S-волн, с поправкой на функцию геометрического расхождения, к спектральным амплитудам кода-волн от расстояния r «источник-приемник»:

$$y = \ln \{ A_i(f) / [Z(r) A_{ic}(f, t_0)] \}$$

для всех землетрясений всех групп (азимутов) и всех диапазонов фильтрации. $A_i(f)$ – амплитуда S-волн от i -того землетрясения, $A_{ic}(f, t_0)$ – амплитуда кода-волн, $Z(r)$ – геометрическое расхождение.

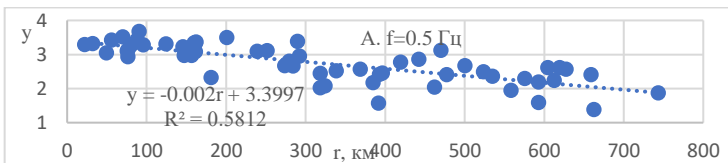


Рис. 3 Пример графика зависимости логарифма отношений спектральных амплитуд S-волн и коды с поправкой на расхождение

Наклон этих линейных зависимостей b даст оценку добротности Q в земной коре района моря Лаптевых и Северной Якутии. При этом используется формула:

$$Q = \lg(e) \pi f / b V_s$$

где V_s – скорость поперечных волн в км/с, f – частота сигнала в Гц, b – угловой коэффициент. Оказалось, максимальное значение добротности литосферы ($Q=246$) наблюдается в восточном направлении, а минимальное – в западном ($Q=135$). Осредненное по направлениям значение $Q=185$ для $f=1$ Гц, что соответствует тектонически активным районам и подтверждает выводы работ [2,3,4,5,9,11,12,13,14].

Работа выполнена при поддержке РНФ по Проекту No. 23–17–00125 (разработка методики) и Государственному заданию № FMWE-2024-0018 (обработка данных эксперимента).

ЛИТЕРАТУРА

1. Букина К.И., Виллемсон Л.Х., Ковачев С.А., Соловьев С.Л. Амплитудные кривые объемных волн байкальских землетрясений по наблюдениям автономных донных сейсмографов // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1983. № 3. С. 82-87.
2. Крылов А.А., Иващенко А.И., Ковачев С.А. и др. Сейсмотектоника и сейсмичность лаптевоморского региона: состояние вопроса и первый опыт годичной постановки донных сейсмостанций на шельфе // Вулканология и сейсмология. 2020. № 6. С. 33-49.
3. Крылов А.А., Ковачев С.А., Гайслер В.Х., Баранов Б.В. Проект "Сейсмичность и геотектоника лаптевоморского региона (СИОЛА)": оценка эффективности временной сейсмологической сети в дельте р. Лена // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2018. № 3. С. 10.
4. Миронюк С.Г., Ковачев С.А., Крылов А.А. Оценка параметров затухания сейсмических волн в земной коре моря Лаптевых для уточнения исходной сейсмичности шельфа акватории // Фундаменты. 2024. №3. С. 20-24.
5. Миронюк С.К., Ковачев С. А., Крылов А.А. Оценка параметров затухания сейсмических волн в земной коре моря Лаптевых для уточнения исходной сейсмичности шельфа акватории // Сборник докладов III международного строительного форумума «Арктика». 13-15 ноября 2024 года, Москва. С. 147-152.
6. Соловьев С.Л., Букина К.И., Виллемсон Л.Х., Ковачев С.А. Дальность регистрации землетрясений Байкальской зоны донными сейсмическими станциями // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1984. № 6.
7. Соловьев С.Л., Контарь Е.А., Дозоров Т.А., Ковачев С.А. Глубоководная донная самовсплывающая сейсмологическая станция АДС-8 // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1988. № 9. С. 75-85.
8. Kovachev S.A., Kuzin I.P., Shoda O.Yu., Soloviev S.L. Attenuation of S-waves in the lithosphere of the Sea of Crete according to OBS observations // PEPI. 1991. T. 69. № 1-2. С. 101-111.
9. Krylov A.A., Ananiev R.A., Chernykh D.V., Alekseev D.A., Balikhin E.I., Dmitrevsky N.N., Novikov M.A., Radiuk E.A., Domanyuk A.V.,

- Kovachev S.A. et al. A complex of marine geophysical methods for studying gas emission process on the Arctic shelf // *Sensors*. 2023. T. 23. № 8. С. 3872.
10. Krylov A.A., Kovachev S.A. Assessment of the quality factor of lithosphere for the Lena delta (Laptev sea region) // *Proceedings of 24th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*. 2024. Vol. 24, Issue 1.1.
 11. Krylov A.A., Kovachev S.A., Ilinskiy D.A. et al. Ocean-bottom seismographs based on broadband met sensors: architecture and deployment case study in the Arctic // *Sensors*. 2021. T. 21. № 12.
 12. Krylov A.A., Kulikov M.E., Kovachev S.A., Medvedev I.P., Lobkovsky L.I., Semiletov I.P. Peculiarities of the HVSR method application to seismic records obtained by ocean-bottom seismographs in the Arctic // *Applied Sciences (Switzerland)*. 2022. T. 12. № 19. С. 9576.
 13. Krylov A.A., Novikov M.A., Kovachev S.A. et al. Features of seismological observations in the Arctic Seas // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2023. T. 11. № 12. С. 2221.
 14. Soloviev S.L., Bukina K.I., Kovachev S.A., Villemson L.Kh. Long-rang propagation of short period transversal and longitudinal seismic waves in the Baikal zone // *Geophys. J.R. Astron. Soc.* 1987. V. 88. P. 125-137.

УДК 550.34

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ УГВ ОБЪЕКТА В АКВАТОРИИ СРЕДНЕГО КАСПИЯ

Ковачев С.А., Крылов А.А., Либина Н.В., Миронюк С.Г.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117997, Москва, Нахимовский пр. 36
+7 (916) 235 4029, kovachev@ocean.ru*

SEISMIC HAZARD ASSESSMENT FOR A HYDROCARBON SITE IN THE WATER AREA OF THE MIDDLE CASPIAN SEA

Kovachev S.A., Krylov A.A., Libina N.V., Mironyuk S.G.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences
36, Nahimovsky Prospect, Moscow, Russia, 117997*

Описаны результаты сейсмического микрорайонирования площадки Женис в Каспийском море, выполненного разными методами, при этом наблюдаются некоторые различия значений амплитуды сейсмических сотрясений.

The results of seismic microzonation of the Zhenis site in the Caspian Sea performed by different methods are described, with some differences in seismic shaking amplitude values observed.

Ключевые слова: Каспий, площадка УГВ, сейсмическая опасность
Key words: Caspian Sea, hydrocarbon site, seismic hazard

Для оценки сейсмической опасности углеводородного месторождения Женис, расположенного в акватории Среднего Каспия, был выполнен целый комплекс геолого-геофизических исследований, включающий уточнение исходной сейсмичности (УИС) с привлечением данных о сеймотектонике района [10], повторяемости землетрясений [2,3], включая данные о микроземлетрясениях, и сейсмическое микрорайонирование (СМР) [8,9,11].

Выполненные расчеты (целевой и синтезированные спектры реакции, рис. 1) показали, что для средних грунтов площадки Женис для максимального расчетного землетрясения (МРЗ, период повторения 5000 лет) интенсивность сейсмических сотрясений составляет 0.2 g в терминах PGA (пиковые горизонтальные ускорения грунта) или 8 баллов в терминах интенсивности сейсмических сотрясений в баллах шкалы MSK-64, что практически совпадает с данными карты ОСР-97С.



Рис. 1. Спектр реакции с 5% затуханием для периода повторяемости 5000 лет и среднестатистический спектр реакции, построенный по ансамблю из 10 синтетических акселерограмм
Расчет по программе NERA (для сейсмического микрорайонирования) для разреза, разработанного до глубины 140 м в месте расположения

глубокой скважины (рис. 2) дал значение $A_{max}=0.215 g$ или 8.08 балла шкалы MSK-64. Данный расчет для этого разреза по программе NERA был выполнен в соответствии с рекомендациями СТО 95 12022-2017 (ведомственные нормы Госкорпорации «Росатом»). Для разреза до глубины 35 м эти значения оказались выше: $A_{max}= 0.253 g$ и 8.31 балла в значениях интенсивности сейсмических сотрясений по шкале MSK-64.

Расчеты приращения балльности по методу сейсмических жесткостей были выполнены с использованием двух соотношений.

1 – это формула С.В. Медведева:

$$\Delta I = 1.67 \log(R_{эм}/R_i), \quad (1)$$

где $R_{эм}$ – сейсмическая жесткость эталонного грунта, R_i – сейсмическая жесткость исследуемого грунта. Она была использована для обработки разреза, построенного до глубины 35 м.

2 – формула из действующих норм СМР СП 283.1325800.2016:

$$\Delta I = 2.5 \log(bR_{реф}/(R_i+R_{реф})) \quad (2)$$

где $R_{реф}$ – сейсмическая жесткость референтного грунта ($V_s > 800$ м/с, $\rho > 2.5$ г/см³), R_i – сейсмическая жесткость исследуемого грунта, b – максимальный коэффициент динамичности.

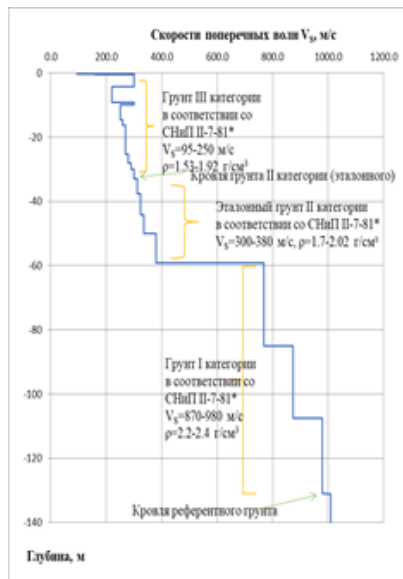


Рис. 2 Сейсмогеологический разрез для скважины, полученный по данным бурения до глубины 74 м и сейсмическим данным ВРС МОВ ОГТ до глубины 140 м

Формула 2 была использована при расчетах приращения балльности для глубокого разреза (140 м). Использование этих двух формул дало следующие значения балльности на поверхности донного грунта: для разреза 35 м $A_{max} = 0.236$ g, $I = 8.208$; для разреза 140 м и формулы из СП $A_{max} = 0.275$ g, $I = 8.430$. Расхождения результатов использования разных методов расчета можно объяснить тем, что все вышеперечисленные подходы к расчетам параметров сейсмических воздействий для учета грунтовых условий разработаны для суши. Они нуждаются в верификации с помощью измерений *in situ* на морском дне с использованием донных сейсмографов и записей удаленных и местных землетрясений. Примеры выполнения сейсмологического мониторинга и СМР на море приводятся в работах [1,4,5,6,7,12,13,14]. Распределение параметров сейсмических воздействий по площади исследуемого района показано на рис. 3 для максимального расчетного землетрясения. Максимальное сейсмическое воздействие для площадки Женис составило 0.25 г с учетом грунтовых условий.

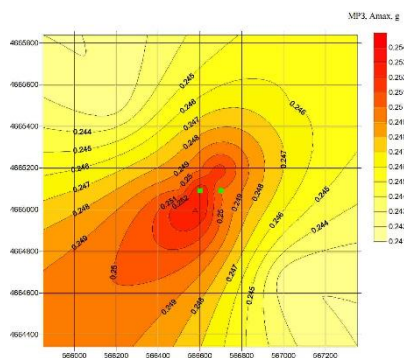


Рис. 3 Распределение амплитуды максимального ускорения донного грунта A_{max} в долях g в юго-западной части площадки Женис.

Положение скважин показано зелеными квадратиками

Таким образом, результаты сейсмического районирования площадки Женис, полученные двумя разными методами и разными входными параметрами показали некоторые различия в значениях сейсмических воздействий на поверхности грунта.

Работа выполнена при поддержке РФФ по Проекту №. 23–17–00125 (разработка методики) и Государственному заданию № FMWE-2024-0018 (обработка данных эксперимента).

ЛИТЕРАТУРА

1. Kovachev S.A., Kuzin I.P., Soloviev S.L. Microseismicity of the frontal Hellenic arc according to OBS observations // *Tectonophysics*. 1992. V. 201, Issues 3-4, P. 317-327.
2. Kovachev S.A., Kaz'min V.G., Kuzin I.P., Lobkovsky L.I. New data on mantle seismicity of the Caspian region and their geological interpretation // *Geotectonics*. 2009. V. 43. № 3. P. 208-220.
3. Kovachev S.A., Kaz'min V.G., Kuzin I.P., Lobkovsky L.I. New data on seismicity of the Middle Caspian basin and their possible tectonic interpretation // *Geotectonics*. 2006. V. 40. № 5. P. 367-376.
4. Kovachev S.A., Krylov A.A. Microseismicity of the Persian Gulf and the Zagros Mountain Massif According to Bottom Seismological Observations // *Vulkanologïa i sejsmologïa*. 2023. V. 17. N. 6. P. 41-59.
5. Kovachev S.A., Krylov A.A. Results of seismological monitoring in the Baltic Sea and western part of the Kaliningrad oblast using bottom seismographs // *Izvestiya Physics of the Solid Earth*. 2023. V. 59, N2. P. 94-114.
6. Kovachev S.A., Kuzin I.P., Lobkovskii L.I. Detailed seismological observations on the central shelf and continental slope of the Northeastern Black Sea using sea-bottom stations // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2003. V. 39. № 1. P. 19-24.
7. Kovachev S.A., Libina N.V. Assessment of initial seismicity for offshore platforms: a case study of the Pechora Sea // *Oceanology*. 2024. V. 64. № 1. P. 139-148.
8. Krylov A.A., Alekseev D.A., Kovachev S.A. et al. Numerical modeling of nonlinear response of seafloor porous saturated soil deposits to SH-wave propagation // *Applied Sciences (Switzerland)*. 2021. T. 11. № 4. C. 1-17.
9. Krylov A.A., Ananiev R.A., Chernykh D.V., Alekseev D.A., Balikhin E.I., Dmitrevsky N.N., Novikov M.A., Radiuk E.A., Domanyuk A.V., Kovachev S.A. et al. A complex of marine geophysical methods for studying gas emission process on the Arctic shelf // *Sensors*. 2023. T. 23. № 8. C. 3872.
10. Krylov A.A., Ivashchenko A.I., Kovachev S.A. Seismic hazard assessment for oil-and-gas-bearing shelf zones: a case study of the North Caspian region // *Oceanology*. 2015. V. 55. № 6. P. 910-915.
11. Krylov A.A., Kovachev S.A. et al. Matnerapor - a matlab package for numerical modeling of nonlinear response of porous saturated soil

- deposits to P- and SH- waves propagation // Applied Sciences (Switzerland). 2022. Т. 12. № 9.
12. Krylov A.A., Kovachev S.A. et al. Ocean-bottom seismographs based on broadband met sensors: architecture and deployment case study in the Arctic // Sensors. 2021. Т. 21. № 12.
 13. Krylov A.A., Lobkovskii L.I., Kovachev S.A., Baranov B.V., Rukavishnikova D.D., Tsukanov N.V., Dozorova K.A., Semiletov I.P. Geodynamic regimes in the Laptev Sea region according to the latest seismological data // Doklady Earth Sciences. 2023. V. 513. № 2. P. 1338-1343.
 14. Soloviev S.L., Kovachev S.A. On the determination of local magnitude of near earthquakes from OBS observations // Acta Geophysica Polonica. 1994. V. XLII. N. 4. P. 274-280.

УДК 551.46.0

ПОДВОДНЫЙ ШИРОКОПОЛОСНЫЙ РЕГИСТРАТОР АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ: ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАНОВЫХ СИПОВ

**Будников А.А.¹, Ильинский Д.А.², Рогальский Л.Ю.¹,
Малахова Т.В.³**

¹ МГУ имени М.В.Ломоносова, Ленинские горы, 1 стр.2, Физический факультет, 119991, г. Москва, 7(495)939-16-82,
aa.budnikov@physics.msu.ru

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва, Нахимовский пр., 36, 7(499)124-13-01, dilinskiy61@mail.ru

³ Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, просп. Нахимова, 2, 299011, г. Севастополь, 7(8692)54-41-10,
t.malakhova@ibss-ras.ru

**UNDERWATER BROADBAND RECORDER OF ACOUSTIC
SIGNALS: CHARACTERISTICS AND APPLICATION EXPERIENCE
FOR METHANE SEEP MONITORING**

Budnikov A.A.¹, Ilinskiy D.A.², Rogalskii L.Iu.¹, Malakhova T.V.³

¹ Lomonosov Moscow State University, Department of Physics, Moscow, 11991, Russia

² Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36, Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia.

³ A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences, 2, Prosp. Nakhimova, Sevastopol, 299011, Russia

В статье представлена методика оценки объема газового потока пузырьковых газовыделений при помощи разработанного авторами и испытанного в натуральных условиях широкополосного регистратора акустических сигналов, производимых выделяющимися из дна пузырьками.

Paper presents a methodology for estimating the volume of gas flow from the site of methane bubble gas emission using a broadband recorder of acoustic signals produced by bubbles emitted from the bottom developed by the authors and tested in full-scale conditions.

Ключевые слова: автономный широкополосный гидрофон, пассивная акустика, газовые пузыри, метановые сипы, оценка газового потока.

Key words: Autonomous broadband hydrophone, passive acoustics, gas bubbles, methane seepages, gas flow estimation.

Авторы доклада представляют методику оценки объема газового потока из дна в водную толщу на площадке метановых пузырьковых газовыделений с использованием регистратора акустических сигналов, созданного и адаптированного к данной задаче совместно сотрудниками физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова и Института океанологии им. П.П. Ширшова.

На рис. 1 приведен общий вид устройства и частотная характеристика гидрофона.





Рис. 1. Частотная характеристика гидрофона и общий вид устройства. Гидрофон подключается к акустическому регистратору со следующими характеристиками:

- Вход: 3,5 мм стерео мини-джек
- Аудио разрешение: 24 бит / 96 кГц
- Каналы записи: 2
- Формат записи: WAVE 44,1/48/96 кГц, 16/24-бит , MP3 44,1/48 кГц, 32/64/96/128/192/256/320 кбит/с
- Объем памяти для записи сигнала: Микро SD-карта 128 Гбайт (256 часов записи в формате WAVE 44,1 кГц)
- Соединение с компьютером: USB 2.0
- Возможность подключения внешнего питания через USB (сетевой блок питания в комплекте)
- Дисплей с подсветкой
- Физические размеры 90 мм × 158 мм × 26 мм
- Вес 300 грамм
- Диапазон рабочих температур: 0–40 °С
- Глубина погружения устройства до 200 метров.

Полевые испытания регистратора были выполнены в ходе прибрежной экспедиции в районе мыса Аю-Даг, проведенной совместно с сотрудниками ФИЦ ИнБЮМ, на впервые обнаруженной авторами в ноябре 2024 года площадке выхода пузырькового газа (44.547963 с.ш., 34.345962 в.д.). Устройство располагалось на глубине 21,5 м в непосредственной близости от точек выхода пузырькового газа (рис.2а). На рис.2б приведен фрагмент полученной регистратором 24-х часовой аудиозаписи, представленной в виде волнограммы и спектрограммы в программе Audacity. Анализ аудиозаписи позволяет определить количество выделившихся газовых пузырьков и их размеры по соотношению между пиковой частотой нулевой моды их колебаний и радиусом пузырьков [1,2].

Аналогичные работы ранее проводились авторами в бухте Ласпи в

мелководной зоне глубиной 2,5 метра [3,4], однако регистратор, используемый авторами в ходе предыдущих экспедиций, не позволял получать записи длительностью более суток и имел худшее качество записи. Полученные регистратором данные свидетельствуют о более редких, по сравнению с бухтой Ласпи, выходах групп пузырьков, а анализ интенсивности акустических сигналов говорит о наличии нескольких источников в зоне слышимости.

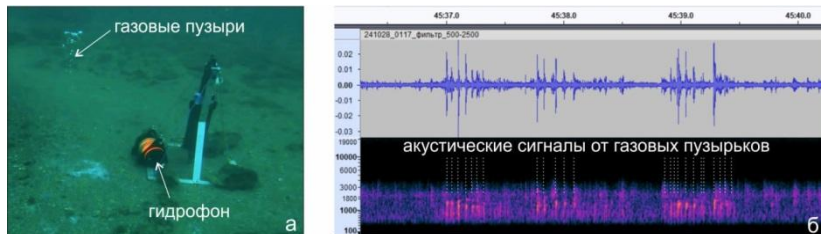


Рис. 2. Подводная фотография места расположения регистратора и фрагмент полученных данных, представленный в виде волнограммы и спектрограммы, содержащий акустические сигналы, возникающих при выходе пузырьков газа из морского дна (анализ проводился в программе Audacity). По горизонтальной оси отложено время.

Для анализа продолжительных записей была создана специальная программа, позволяющая в автоматическом режиме определять моменты выхода пузырьков и подсчитывать их количество, что существенно облегчает обработку данных.

Таким образом, выполненные работы показали, что регистратор может быть успешно использован при исследованиях подводных метановых высачиваний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Longo, M. Black Sea Methane Flares From the Seafloor: Tracking Outgassing by Using Passive Acoustics / M. Longo, G. Lazzaro, C.G. Caruso, V. Radulescu, R. Radulescu, S.S. Sciré Scappuzzo, D. Birot and F. Italiano // *Front. Earth Sci.* (2021) 9:678834. doi: 10.3389/feart.2021.678834
2. Leifer, I. The acoustic signature of marine seep bubbles / I. Leifer, D. Tang, // *J. Acoust. Soc. Am.* – 2007, 121, EL35–EL40. doi:10.1121/1.2401227
3. Будников, А.А. Применение пассивного акустического метода для детектирования и оценки потоков мелководных пузырьков

газовыделений / А.А. Будников, Т.В. Малахова, И.Н. Иванова, Е.В. Линченко // Вестник Московского Университета. Серия 3. Физика. Астрономия. - 2019. № 6. С. 107-113.

4. Будников, А.А. Мониторинг пузырьковых метановых газовыделений и гидрологических параметров в бухте Ласпи (Крым) / А.А. Будников, И.Н. Иванова, А.И. Хурчак, Т.В. Малахова // Вестник Московского университета. Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. - 2023, 78(4), DOI: 10.55959/MSU0579-9392.78.2340901

УДК 551.24.02

ЛОКАЛЬНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ФОНЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ

Подымов И.С.¹, Подымова Т.М.^{1,2}

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997, Москва, Нахимовский пр., 36, 8(499)124-13-01,*

¹ipodymov@inbox.ru, ²tpodymova@inbox.ru

LOCAL DEFORMATIONS OF THE EARTH'S SURFACE AGAINST THE BACKGROUND OF GLOBAL GEOPHYSICAL ANOMALIES

Podymov I.S., Podymova T.M.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia.*

В статье представлена математическая модель локальных низкочастотных деформаций земной поверхности Черноморского побережья, разработанная по данным 9-и летнего мониторинга вариаций объемной активности радона в приземной атмосфере и материалам геостационарного позиционирования региона.

The paper presents a mathematical model of local low-frequency deformations the Earth's surface of Black Sea coast, developed based on data from 9-year monitoring the radon volume activity variations in the surface atmosphere and on materials of the region geostationary positioning.

Ключевые слова: земная поверхность, локальные деформации, геофизические процессы, методы исследования.

Key words: the Earth's surface, local deformations, geophysical processes, research methods.

Авторы доклада представляют некоторые результаты исследований ИО РАН по теме «Комплексные исследования морских природных систем Черного и Азовского морей». В круг рассматриваемых ключевых процессов вошли: глобальные геофизические аномалии; связь вариаций объемной активности радона (ОАР) в приземной атмосфере с тектонической нестабильностью и выбросами глубинных газов в атмосферу; расчет модели локальных деформаций земной поверхности по вариациям ОАР и данным геостационарного позиционирования региона исследований.

Причина возникновения этих задач – резкое увеличение сейсмической нестабильности планеты Земля с 1995 года. Количество значимых землетрясений ($M \geq 3$) на земном шаре за 20-и летний период увеличилось в десятки раз. Увеличилось количество выбросов глубинных газов в атмосферу. Газы, входящие в состав выбросов, создают парниковый эффект со всеми вытекающими последствиями, в число которых входит увеличение температуры воздуха над земной поверхностью. Вместе с обычными газами из земных недр происходит эманация радиоактивного газа радон-222. Исследования показали [1], что частотные характеристики вариаций ОАР и внутренних гравитационных волн (ВГВ) совпадают с колебаниями земной поверхности при сейсмических процессах. Поскольку подготовка к сейсмическим аномалиям фиксируется определенными колебаниями земной поверхности, характерными для конкретного региона, вариации ОАР могут служить предвестниками землетрясений при условии набора статистических данных.

Целью исследований стала разработка комплекса для мониторинга вариаций ОАР в приземной атмосфере. Основной проблемой стал выбор методики измерений. Период полураспада радона-222 около 3,8 суток. Это значит, что прямой способ измерения энергии высокоэнергичных альфа-частиц, излучаемых радоном при распаде, позволит снимать одно значение, осредненное за 10 суток. Была разработана конструкция датчика, регистрирующая энергию низкоэнергичных дочерних продуктов бета-линий распада – изотопов свинца-214 и висмута-214. Период полураспада этих изотопов около 20 минут. ОАР рассчитывается по уравнению для неравновесной смеси короткоживущих дочерних продуктов распада. Время

осреднения одного измерения – 1 час.

Датчик размещен в изолированной камере, что позволило исключить влияние альфа-частиц и шумов метеорологического происхождения, а также получать информацию даже при очень слабых деформациях земной поверхности. С января 2016 года ведется непрерывный мониторинг вариаций ОАР в приземной атмосфере. Ежедневно информация сбрасывается на компьютер. Комплекс установлен в Южном отделении Института океанологии РАН. Ряд измерений ОАР за период мониторинга превышает 80000.

Следующая поставленная цель – поиск связи амплитудно-частотных вариаций ОАР с деформациями земной поверхности в регионе пункта мониторинга. Для этого использованы данные геостационарного позиционирования (ГСП) региона проводимых исследований [2]. Подробно этот вопрос в тезисах доклада рассмотреть невозможно. Детально он будет представлен в презентации конференции. Как пример, на Рис. 1 приведен график относительных вариаций ОАР на годовом интервале 2024 года и график деформаций земной поверхности в метрах на этом же временном интервале.

По графикам видно, что всплеску выброса радона соответствует проседание земной поверхности. Амплитуда колебаний земной поверхности по данным ГСП составила 19 мм, по модели – 22 мм. Возможно разница в том, что данные ГСП снимаются 1 раз в 3 суток, данные мониторинговых наблюдений фиксируются 1 раз в час.

Вопрос регистрации локальных деформаций земной поверхности возник в связи с тем, что низкочастотные колебания возникают в процессе подготовки землетрясений. Модель расчета деформаций земной поверхности позволяет оценивать колебания земной поверхности с частотой менее $2.7 \cdot 10^{-4}$ Гц и амплитудой в единицы мм.

Особенность метода мониторинга локальных низкочастотных деформаций земной поверхности в том, что он не фиксирует колебания земной поверхности, вызванные силовыми воздействиями на земную поверхность извне. Математическая модель локальных деформаций земной поверхности связана с геологической структурой места проведения наблюдений и не является универсальной. Для каждого конкретного региона она рассчитывается отдельно. Метод внедрен в эксплуатацию в 2024 году. На настоящий момент не известно об использовании аналогичных методов исследований где-либо ещё.

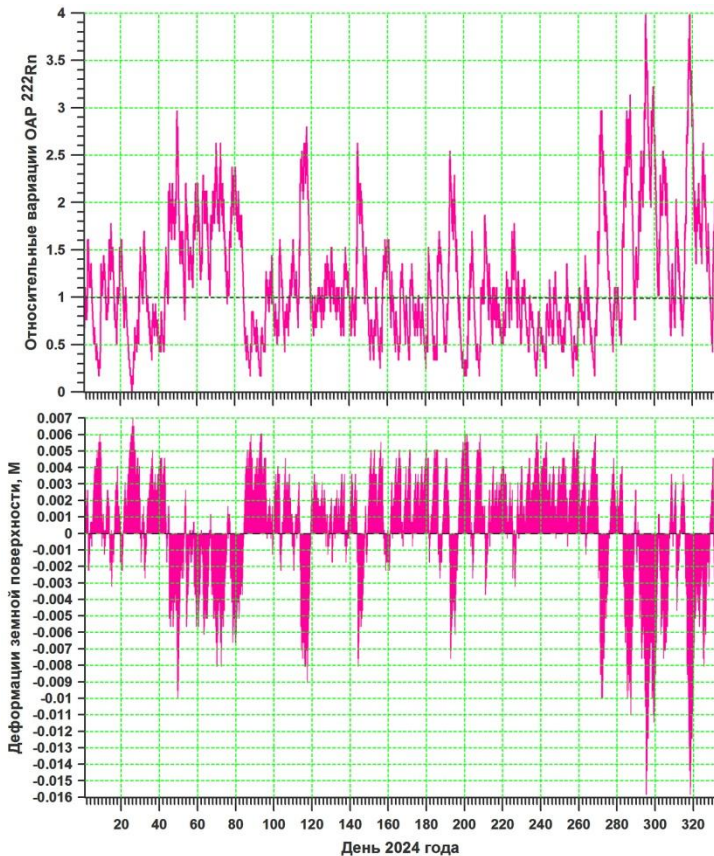


Рис. 1. График относительных вариаций ОАР на годовом интервале 2024 года и график локальных деформаций земной поверхности на этом же временном интервале. Место регистрации – Геленджик.

Помимо прогноза зарождающихся землетрясений мониторинг вариаций ОАР и деформаций земной поверхности, на наш взгляд, может играть важную роль при исследованиях на карбоновых полигонах. Характер выбросов глубинных газов связан с выбросами радона [3]. Необходимо сопоставлять экспериментально полученные результаты с глобально происходящими процессами тектонической нестабильности. Они непрерывно отражаются на спутниковых данных.

Подробно о результатах комплексных исследований в южных регионах России предполагается рассказать на конференции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подымов И.С. Изменение параметров внутренних гравитационных волн и флуктуаций радона в атмосфере в преддверии сейсмических событий / И.С. Подымов, Т.М. Подымова // Евразийское научное объединение. - 2020. - № 10 (68). – С. 403-406.
2. Бабешко В.А. Характер движений поверхности земной коры по данным GPS-измерений в районе Азово-Черноморского побережья Российской Федерации / В. А. Бабешко [и др.] // Наука Юга России. - 2016. - № 4 (12). - С. 33-40.
3. Подымов И.С. Межгодовая изменчивость температуры поверхностей морей и океанов на временном интервале 45 лет / И.С. Подымов, Т.М. Подымова // Наукосфера. - 2024. - № 9 (2). – С. 67-75.

УДК 550.34.012

ЛОКАЛЬНАЯ СИСТЕМА РАННЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ЦУНАМИ

Алисолтанов А.А.¹, Барыкин А.А.¹, Мещанкина М.Ю.¹,
Мухин А.А.¹, Щербина М.А.², Медведев И.П.³

¹Московский политехнический университет, 107023, г. Москва, ул.
Большая Семёновская, 38, тел.: +7 (495) 223-05-23, e-mail:
mospolytech@mospolytech.ru

²Совет кураторов научного сообщества Искра при Администрации
Президента РФ

³Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

LOCAL TSUNAMI EARLY WARNING SYSTEM

Alisoltanov A.A.¹, Barykin A.A.¹, Meshchankina M.Yu.¹, Mukhin A.A.¹,
Shcherbina M.A.², Medvedev I.P.³

¹Moscow Polytechnic University, 107023, g. Moscow, Bolshaya
Semenovskaya st, 38.

²Council of Curators of the Scientific Community Iskra at the
Administration of the President of the Russian Federation

³Shirshov Institute of Oceanology RAS

Проектной командой на основании ГОСТ 15.016–2016 Система разработки и постановки продукции на производство, сформировано ТЗ на НИОКР на локальную систему раннего предупреждения цунами.

The project team, based on GOST 15.016-2016 System for the development and production of products, formed the terms of reference for R&D for a local tsunami early warning system.

Существует острая задача создания локальной системы оповещения населения об опасности цунами. На сегодня служба предупреждения о цунами базируется на использовании магнитудно-географического критерия (оценка магнитуды землетрясения и расположения его гипоцентра), анализе данных сейсмической и гидрофизической сети. Существует несколько проблем, решение которых позволит значительно улучшить безопасность населения прибрежных населенных пунктов:

1) Не все землетрясения, соответствующие магнитудно-географическому критерию, являются цунами генными и приводят к генерации заметных волн цунами. К цунами приводят не только сейсмические деформации дна, но и другие факторы (например, оползни на материковом склоне, взрывы вулканов). Поэтому Служба предупреждения о цунами (СПЦ) неизбежно сталкивается с проблемой выбора – объявлять ли сигнал тревоги, который может оказаться ложным и приведет к значительным экономическим убыткам.

4) Для некоторых частей Дальневосточного побережья РФ промежуток времени между цунамиопасным событием и приходом волны на берег составляет) менее 15–20 минут. Примерно 5–7 минут уходит на принятие решения о сигнале тревоги, то есть у населения остается не более 10–15 минут для эвакуации.

5) В России только в Камчатском крае существует двадцать цунамиопасных населенных пунктов с общим количеством население около 32 тыс. человек. Менее цунамиопасными регионами России являются Курильские острова, Сахалин, побережье Приморского края, а также побережье Черного и Каспийского морей.

Решением поставленной проблемы является локальная защита населенных пунктов в цунамиопасных областях с помощью системы локальных донных гидростатических датчиков. Такие датчики устанавливаются на материковом склоне и крае шельфа на глубинах до 400 м на возможных направлениях подхода волн цунами. При

расчете точек установки датчиков необходим баланс между глубиной установки с одной стороны (ухудшает точность определения события прохождения цунами) и близостью к побережью (чем дальше от побережья, тем больше времени для предупреждения населения).

Сам датчик представляет собой двухуровневую структуру. Нижняя часть помещается на дно и содержит: донный датчик гидростатического давления с чипом, позволяющим анализировать полученные данные и выделять события на поверхности, обладающие характерными для цунами частотами. При наличии такого события автоматически освобождается быстро всплывающая верхняя часть системы, которая после всплытия посылает УКВ радиосигнал непосредственно на побережье. Быстро всплывающая часть системы устанавливается на глубинах, препятствующих повреждению системы тралами рыболовных судов. Такая конструкция позволит уменьшить количество времени, необходимое для всплытия датчика с большой глубины, и, соответственно, увеличить время эвакуации населения.

Проведенные нами расчеты показывают, что для населенных пунктов Камчатского края всплывающие датчики позволят предупредить населения как минимум за 15 минут до прихода волны на побережье.

Защита каждого населенного пункта потребует установки от 3–7 датчиков (в зависимости от профиля дна и побережья), каждый датчик будет стоить до 5000 долларов. Еще одной статьей расходов будет непосредственно установка датчиков в море. Система потребует проводить профилактические работы и замену датчиков раз в пять-семь лет.

Такое решение ни в коем случае не заменяет работу гидрофизической и сейсмической сетей мониторинга службы предупреждения о цунами, а является дополнительным. Ее сигнал можно рассматривать, как первое предупреждение, которое вскоре может быть подтверждено сигналом тревоги СПЦ.

Разрабатываемая система имеет большой потенциал коммерциализации, поскольку в ее наличии заявляют значительный интерес администрации курортных регионов в странах Индо-Тихоокеанского региона, в которых высока вероятность как сейсмических, так и оползневых цунами.

Нами разработано ТЗ на НИОКР по созданию локальной системы раннего предупреждения о цунами.

**ОДИН ИЗ МЕТОДОВ ВЫДЕЛЕНИЕ ЛИНЕАМЕНТОВ ПО
ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА ДНА НА ПРИМЕРЕ
КАСПИЙСКОГО МОРЯ**

Либина Н.В., Путанс В.А., Ковачев С.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН 117997, г. Москва,
Нахимовский пр-т 36, 8(903)684-30-44 lnatvit@mail.ru*

**ONE OF THE METHODS OF LINEAMENT IDENTIFICATION FROM
DIGITAL BOTTOM RELIEF MODEL ON THE EXAMPLE OF THE
CASPIAN SEA**

Libina N.V., Putans V.A., Kovachev S.A.

*Shirshov Institute of oceanology RAS, 36 Nahimovskyprospect, Moscow,
Russia, 117997*

Каспийский регион представляется удачной научной площадкой для развития методики выделения линеаментов по цифровой модели рельефа (ЦМР) дна: район сейсмоактивный, давно и всесторонне изучается, соответственно имеется существенное количество данных для верификации результатов моделирования.

Линеаменты в настоящее время рассматривают, как линейные и дугообразные элементы геолого-геофизической среды, находящие отражение в рельефе и включающие в себя разнообразные объекты: разрывы и трещины, зоны повышенной концентрации деформаций, градиентные зоны геофизических полей, элементы структурно-вещественной неоднородности геологической среды, также они могут отражать и подводные каналы различных флюидов и растворов. Соответственно выделение линеаментов по картам рельефа возможно благодаря тому, что они представляют собой выходы на земную поверхность разрывных нарушений и их прямых картировочных признаков: собственно, разломов и трещин.

В качестве исходных данных для выделения линеаментов использовалась ЦМР Caspy-30'' [1]. Шаг дискретизации сетки 5000 м соответствовал задаче выделения линеаментов регионального уровня.

Одним из применявшихся методов было выделение килевых форм с помощью расчета кривизны рельефа дна.

Выделение килевых форм рельефа дна проводилось после расчета профильной (вертикальной) и плановой (горизонтальной) кривизны, морфометрических величин, основывающихся на производных второго порядка функции ЦМР и описывающих выгнутые и вогнутые формы рельефа, т.е. гребневые и килевые формы. На карте кривизны строились только значения отрицательных форм кривизны соответствующие килевым формам рельефа. Далее по ним выделялись предполагаемые линеаменты. Результаты выделения линеаментов по распределению профильной и плановой кривизны рельефа приведены на рис. 1а.

Верификация выделенных линеаментов проводилась по методически независимым друг от друга геофизическим и геологическим данным позволяющим выделять разломные зоны. А именно каталогам землетрясений, разрезам непрерывного сейсмопрофилирования (НСП), картированным по данным НСП зонам выхода флюидов («трубам») и схемам активных разломов полученных по различным геолого-геофизическим данным.

Карта рельефа дна Каспийского моря и прилегающей территории с данными используемыми для верификации предлагаемого метода выделения линеаментов показана на рис. 1б. На карте отображено распределение эпицентров землетрясений из каталога [2], данные донных сейсмологических наблюдений Института океанологии РАН [3]. Показаны выявленные ранее геофлюидодинамические объекты «трубы», некоторые из точек обнаружения разломов по данным непрерывного сейсмопрофилирования (НСП) - результаты фактического проявления активных разломных зон. Также приведены данные о активных разломах [4].

Судя по рисунку 1б оба набора эпицентров землетрясений приурочены к зонам концентрации разломов, выделенных по данным о кривизне рельефа.

Пространственное сопоставление положения выделенных линеаментов (разломов) с профилями НСП показало, что выделенные нами линеаменты (разломы) на профилях НСП отображаются в виде аномалий волнового поля, которые соответствуют нарушениям в тонкой структуре осадков. В качестве примера на рис. 2 приведены четыре временных разреза НСП (положение на рис. 1) точно над разломом.

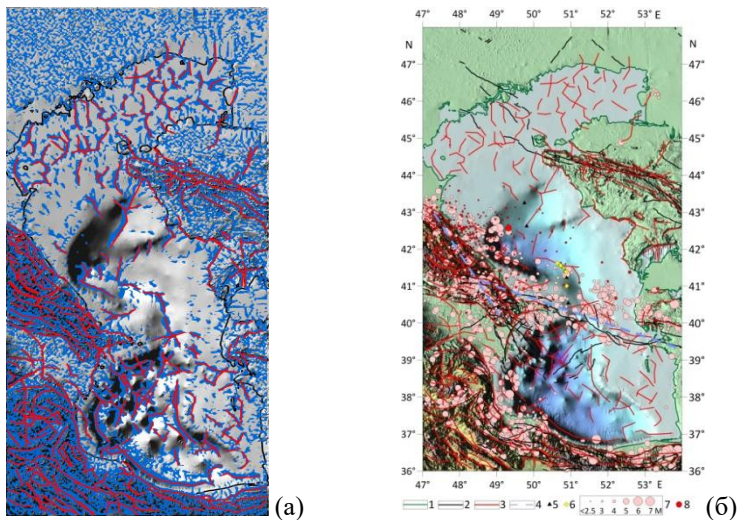


Рис. 1. Выделение линеаментов по ЦМР рельефа Каспийского региона.

а) Выделенные линеаменты (красные линии) по килевым формам общей кривизны рельефа (синии) на теневой карте.

б) Сводная схема распределения выделенных по ЦМР линеаментов, эпицентров землетрясений и активных разломных зон.

1- береговая линия; 2 - активные разломные зоны по данным [4];
 3 - линеаменты, выделенные с помощью анализа кривизны рельефа;
 4 - Западно-Каспийский разлом и Апшеронский порог; 5 - точки обнаружения разломов по данным НСП; 6 - «трубы» флюидодинамики по данным НСП; 7 - эпицентры землетрясений по данным каталога USGS [2]; 8 - эпицентры землетрясений зарегистрированных донными станциями ИО РАН в 2004 – 2006 гг. [3].

Результаты исследования показали эффективность применения метода выделения килевых форм с помощью расчета кривизны рельефа для выявления крупных линеаментов. Совместное использование результатов геоморфометрического анализа с данными о распределении эпицентров землетрясений позволяет выделить активные разломные зоны и может оказаться весьма перспективным при оценке сейсмической опасности на шельфе.

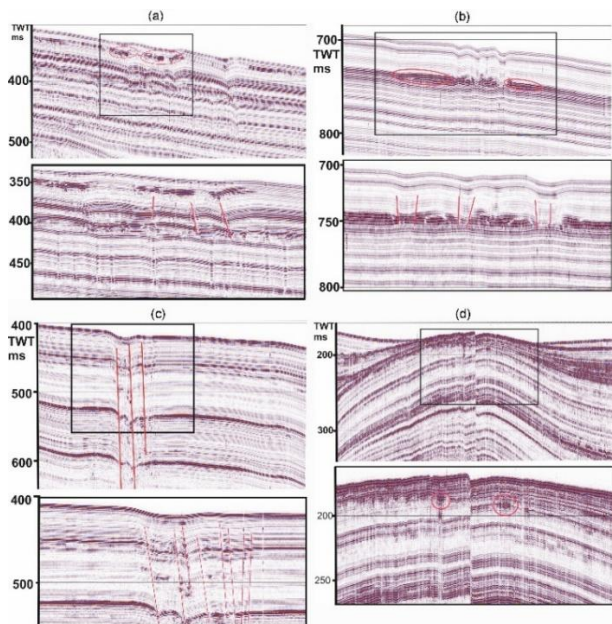


Рис. 2. Разрезы НСП пересекающие разломы в точках, показанных на рис. 1б треугольниками с севера на юг соответственно а, b, с, d.

В нижней части рисунков показан увеличенный выделенный рамкой фрагмент разреза.

Работа выполнена в рамках государственного задания № FMWE-2024-0019.

ЛИТЕРАТУРА

1. ЦМР Caspy-30''. URL: <http://caspi.ru/HTML/025/ind-02.html>. Дата обращения 17.03.2020.
2. USGS. Search Earthquake Catalog. URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>. Дата обращения 15.02.2024.
3. Ковачев С.А., Казьмин В.Г., Кузин И.П., Лобковский Л.И. Новые данные о мантийной сейсмичности Каспийского региона и их геологическая интерпретация // Геотектоника. 2009. № 3. С. 30-44.
4. Active Faults of Eurasia Database (AFEAD). URL: http://neotec.ginras.ru/index/datamap/AFEAD_J39_Map.html; [/AFEAD_K39_Map.html](http://neotec.ginras.ru/index/datamap/AFEAD_K39_Map.html); [/AFEAD_L39_Map.html](http://neotec.ginras.ru/index/datamap/AFEAD_L39_Map.html). Дата обращения 20.08.2024.

**ОПАСНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОЦЕССЫ НА ШЕЛЬФЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ ПО ДАННЫМ
ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Ананьев Р.А., Дмитриевский Н.Н., Росляков А.Г.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997, Москва, Нахимовский пр., 36, 8(499)124-85-47,
corer@mail.ru*

**GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL HAZARDS
ON THE LAPTEV SEA SHELF BASED ON HYDROACOUSTIC
DATA**

Ananiev R.A., Dmitrevsky N.N., Roslyakov A.G.

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskii Prosp., Moscow, 117997*

В работе рассматриваются различные аспекты комплексного использования гидроакустической аппаратуры с целью выявления и мониторинга областей развития опасных геолого-геоморфологических процессов на шельфе моря Лаптевых.

The paper considers various aspects of the integrated use of hydroacoustic equipment in order to identify and monitor areas of geological and geomorphological hazards on the Laptev Sea shelf.

Изучение опасных природных процессов в арктическом регионе представляет особенный интерес при планируемой активизации судоходства по трассе Севморпути и освоении природных ресурсов шельфа. В 2011 – 2020 гг. сотрудники Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН принимали участие в нескольких экспедициях в моря Восточной Арктики, особое внимание было уделено исследованиям в море Лаптевых [1,2].

Исследования проводились с помощью комплекса гидроакустического оборудования - однолучевого (Kongsberg EA 600) и многолучевого (WASSP WMB-3250) эхолотов, акустического профилографа SES-2000 и гидролокатора бокового обзора Гидра. Выполненные работы

позволили получить данные о строении рельефа морского дна и верхней осадочной толщи, выявить закономерности их развития, а также выделить области проявлений опасных геолого-геоморфологических процессов.

Методика работы с комплексом предусматривала движение судна по исследовательским галсам с одновременной записью информации гидроакустического оборудования на твердый носитель и выводом текущего изображения на экраны соответствующих мониторов, что позволяло сразу изучать как водную, так и осадочную толщу. Одновременная работа антенн, расположенных практически в одном и том же месте, позволила взаимно дополнить информативность каждого из используемых методов, а также расширить возможности интерпретации получаемых данных. Данные гидролокации и многолучевой батиметрии позволяли идентифицировать форму донных объектов (борозда, воронка, протяженная структура), а данные профилографа и однолучевого эхолота, в случае нахождения предметов точно по курсу, – уточнять их реальные геометрические размеры. В процессе работы в реальном масштабе времени фиксировались все представляющие интерес подводные объекты, при последующей обработке осуществлялась их полная пространственная и временная привязка.

Проведенные исследования подтвердили широкое распространение потенциально опасных геолого-геоморфологических природных процессов на шельфе моря Лаптевых, представляющих очевидную опасность практически для всех видов деятельности, включая безопасное освоение нефтегазовых месторождений шельфа. Необходимо обратить особое внимание на следующие потенциально опасные процессы и объекты: борозды ледникового выпахивания, эмиссия газов в водную толщу; флюидогенные формы рельефа; газовые скопления, формирующие аномалии сейсмоакустической записи в верхней части осадочной толщи; неотектонические деформации; деградация многолетнемерзлых пород.

Выполненные гидроакустические исследования показали наличие в данном регионе донных газонасыщенных осадков, сопровождаемое высачиванием (сипингом) углеводородных газов, проявляющимся в виде газовых «факелов» и пузырьковых струй в водной толще. Во многих случаях области газовыделения в водную толщу сопровождалось появлением на дне покмарков – микрократеров, образующихся при определенных условиях в местах выхода газа из донных осадков в воду.

Подводная экзарация айсбергов, плавучих и припайных льдов

представляет значительные геориски при освоении нефтегазовых месторождений шельфа. В результате проведенных исследований на шельфе моря Лаптевых на глубинах моря до 120 м были обнаружены многочисленные борозды с широким диапазоном разброса как по глубине их распространения, так и по их фактическим размерам [3]. Характерный вид борозд (траншея с отвалами грунта в одну или обе стороны) не оставляет сомнений в механическом характере воздействия на дно; причиной воздействия является взаимодействие движущегося льда с донной поверхностью (рис. 1).

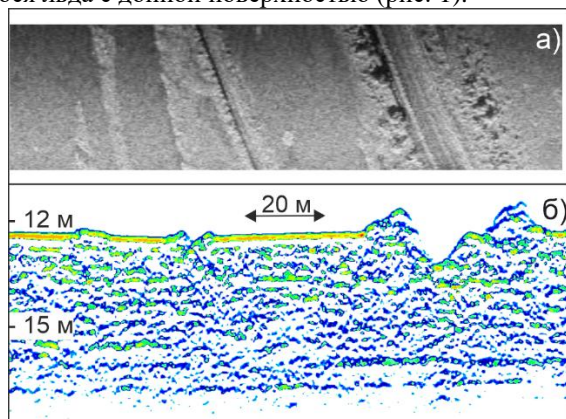


Рис. 1. Фрагменты записи гидролокатора бокового обзора (а) и профилографа (б) с эскарационными бороздами.

Использовавшийся комплекс гидроакустического оборудования позволил решить большинство задач, связанных с обнаружением и картированием областей развития опасных природных процессов на шельфе моря Лаптевых. Области повышенной газонасыщенности, многолетнемерзлые породы, разрывные нарушения, а также ледовая эскарация являются основными георисками в районе исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриевский Н.Н., Ананьев Р.А., Либина Н.В., Росляков А.Г. Использование сейсмоакустического комплекса для исследования верхней осадочной толщи и рельефа морского дна в восточной Арктике // Океанология. 2013. Т. 53. № 3. С. 412-417. <https://doi.org/10.7868/S0030157413020019>
2. Дмитриевский Н.Н., Ананьев Р.А., Мелузов А.А., Мутовкин А.Д., Росляков А.Г. Геолого-акустические исследования в море

- Лаптевых в рейсе судна «Владимир Буйницкий» // Океанология. 2014. Т. 54. № 1. С. 128-132. DOI: 10.7868/S003015741401002X
3. Ananyev R., Dmitrevskiy N., Jakobsson M., Lobkovsky L., Nikiforov S., Roslyakov A., Semiletov I. Sea-ice ploughmarks in the eastern Laptev Sea, East Siberian Arctic shelf. In: Dowdeswell, J. A., Canals, M., Jakobsson, M., Todd, B. J., Dowdeswell, E. K. & Hogan, K. A. (eds). Atlas of Submarine Glacial Landforms: Modern, Quaternary and Ancient // Geological Society, London, Memoirs. 2016. V. 46. P. 301–302. <https://doi.org/10.1144/M46.109>

УДК 550.4

МЕТОДОЛОГИЯ ИЗУЧЕНИЯ ФАЗ, КОНЦЕНТРИРУЮЩИХ РЗЭ, В ОСАДКАХ

Шадрина Д.А.¹, Курдин М.Г.¹, Успенская Т.Ю.²

¹ *Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 125047, Москва, Миусская площадь, д. 9, стр. 1, 8(988)741-45-71, 8(985)941-50-85, dasha310shadrina@gmail.com, maks.kurdin@list.ru*

² *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва, Нахимовский пр., 36, tanuspensk@mail.ru*

APPROACH TO EXAMINE REE CARRIERS IN THE SEDIMENTS

Shadrina D.A.¹, Kurdin M.G.¹, Uspenskaya T.Y.²

¹ *Mendeleev University of chemical technology, 9, Miusskaya square, Moscow, 125047, Russia.*

² *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36, Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia.*

В исследовании представлен методологический подход к изучению морских осадков для выявления фаз, накапливающих редкоземельные элементы. Подход включает в себя анализ минерального и химического состава осадков и его отдельных фракций.

The article presents a methodological approach to the study of sediments and their individual phases, which includes an analysis of the mineral and chemical composition of the bulk composition of sediments and their individual fractions.

Ключевые слова: микроконкреции, биогенный апатит, пелагические осадки

Key words: micronodules, biogenic apatite, pelagic sediments

Редкоземельные элементы относятся к наиболее дефицитным стратегическим ресурсам. С недавних пор осадки Тихого океана рассматриваются как перспективный источник добычи РЗЭ [1]. Содержания РЗЭ в некоторых осадках могут превышать 1000 мкг/г. Марганцевые микроконкреции являются одной из ключевых фаз, отвечающих за накопление РЗЭ в осадках, наряду с биогенным апатитом. Для оценки ресурсного потенциала и прогнозирования важно понимать, как формируется состав РЗЭ в микроконкрециях и как количество микроконкреций связано с темпами седиментации, рельефом дна и биопродуктивностью поверхностных вод. В основном исследование микроконкреций в пелагических осадках сосредоточены в Тихом океане. А изученность осадков Атлантического океана крайне низкая, хотя известны высокие содержания РЗЭ+У в осадках ряда котловин [2], которые достигают 0.05% [3].

В данной работе мы представляем разработанную методику изучения накопления редкоземельных элементов в различных фазах осадка, отобранного в Бразильской котловине Атлантического океана (станция 1538 из [3]). Методологическая схема представлена на рис. 1.

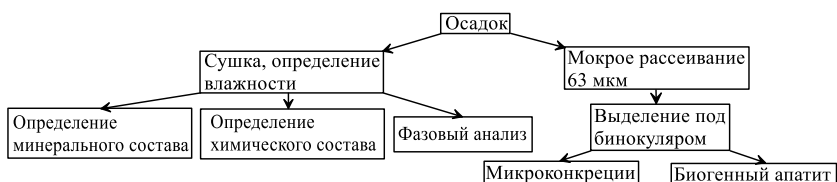


Рис. 1. Схема методики

Осадок делился на 2 части. Первая часть сушилась, определялась влажность. Далее осадок растирался. В образцах этой части осадка определялся валовый химический и минеральный составы. Также из этой части производилось химическое выщелачивание отдельных фаз из осадка. Первая обработка проб проводилась ацетатным буфером (1 М, рН = 5) в течение 5 часов при комнатной температуре в соотношении навеска/реагент 1:250. При этом происходило извлечение карбоната кальция и связанных с ним элементов и высвобождение сорбированных ионов. Вторая обработка проводилась для извлечения оксигидроксидов Mn и связанных с ним элементов. Для этого остаток пробы после извлечения карбонатной

фазы выдерживался в 0.1 М растворе гидроксилamina ($\text{pH} = 2$) в течение 2 часов при комнатной температуре, в соотношении остаток/реагент 1:250. Третья обработка использовалась для выделения гидроксидов железа. Навеску остатка после 2-й обработки обрабатывали 0.2 М буферным раствором оксалата аммония ($\text{pH} = 3.5$) в соотношении навеска/раствор 1:250 и выдерживали в течение 6 часов при комнатной температуре. Четвертая (финишная) обработка заключалась в подготовке к анализу алюмосиликатной фазы, оставшейся после предыдущих трёх последовательных обработок. Остаток растворяли в тефлоновом бюксе в смеси концентрированных кислот HF , HNO_3 , HClO_4 при нагревании.

Вторая часть осадка обрабатывалась методом мокрого рассеивания. Для этого осадки пропускались через сито размерностью 63 мкм, затем фракция микроконкреций и биогенного апатита выделялась вручную под бинокуляром. Выделенные фракции показаны на рис.2 и 3.

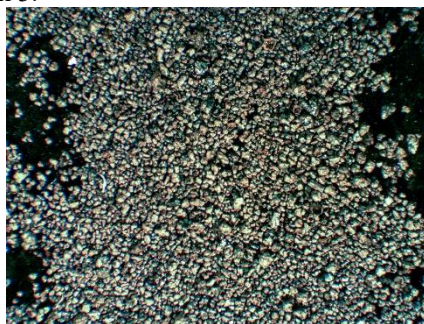


Рис. 2. Железомарганцевые микроконкреции

Биогенный апатит, представлен преимущественно зубами рыб, его химическая формула - $\text{Ca}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_3\text{F}$ - это карбонатфторапатит. Его фракцию выделяют из осадка для определения возраста осадка методом изотопной стронциевой стратиграфии и общего химического состава. Однако стронций железомарганцевых оксигидроксидов и алюмосиликатов (глин), входящих в состав осадка, обменивается в отличие от апатита с морской водой и поровыми водами. Их примеси во фракции зубов могут повлиять на результат определения изотопного состава стронция в осадке. Поэтому необходима тщательная очистка материала апатита от примесей (рис. 3а).



(а) (б)
Рис. 3. Биогенный апатит до (а) и после очистки (б)

Для очистки биогенного апатита использовали механическую обработку ультразвуком и химическую обработку реактивами с визуальным контролем процесса очистки под бинокуляром. Апатит обрабатывали раствором гидрокарбоната натрия, раствором цитрата натрия и дитионитом натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) в ультразвуковой бане при температуре 40°C . Результат очистки представлен на рис.3б. Далее фракцию зубов растворяли в HCl и полученный раствор использовали для анализа микроэлементного состава зубов методом ИСП-МС, макросостава – методом ИСП-ОЭС, и изотопного состава стронция – на многоколлекторном масс-спектрометре.

Предложенная схема анализа морских осадков методом последовательных вытяжек применяется для изучения форм РЗЭ и других микроэлементов в осадках. Параллельное механическое разделение минеральных фаз позволит верифицировать результаты метода вытяжек и выявить фазы, концентрирующие редкие элементы. В докладе приводятся результаты описанных экспериментов.

Работа выполняется за счет средств РНФ (грант 25-27-00394).

ЛИТЕРАТУРА

1. Kato, Y., Fujinaga, K., Nakamura, K., Takaya, Y., Kitamura, K., Ohta, J., Toda, R., Nakashima, T., Iwamori, H., 2011. Deep-sea mud in the Pacific Ocean as a potential resource for rare-earth elements. *Nat. Geosci.* 4, 535–539. <https://doi.org/10.1038/ngeo1185>.
2. Дубинин А.В., Свальнов В.Н., Бережная Е.Д. Геохимия редких и рассеянных элементов в осадках и марганцевых микроконкрециях Ангольской котловины / Литология и полезные ископаемые. – 2013. – № 3. – С. 191. – DOI 10.7868/S0024497X1303004X.
3. Дубинин, А.В., Римская-Корсакова М.Н. Геохимия редкоземельных элементов в донных отложениях Бразильской котловины Атлантического океана / Литология и полезные ископаемые. – 2011. – № 1. – С. 3-20.

УДК 551.464 (268.45)

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА РАЗРЕЗЕ «КОЛЬСКИЙ МЕРИДИАН»

Трофимов А.Г., Губанищев М.А., Анциферов М.Ю.

*Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» (ПНИРО),
183038, Мурманск, ул. Академика Книповича, 6,
8(8152)40-26-07, trofimov@pinro.vniro.ru*

HYDROCHEMICAL STUDIES IN THE KOLA SECTION

Trofimov A.G., Gubanishchev M.A., Antsiferov M.Yu.

*Polar branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and
Oceanography, 6, Academician Knipovich Str., Murmansk, 183038,
Russia*

В статье представлены итоги гидрохимических исследований на разрезе «Кольский меридиан» Баренцева моря с 1926 по 2020 г. Рассчитаны среднесезонные (1961–2020 гг.) концентрации в воде кислорода и фосфатов ежемесячно, и изложены результаты анализа их сезонной изменчивости на разрезе.

The paper gives results of hydrochemical studies in the Kola Section of the Barents Sea in 1926–2020. The long-term mean (1961–2020) oxygen and phosphate contents in seawater were calculated for each month, and the results of analyzing their seasonal variability in the section are given.

Ключевые слова: Баренцево море, растворенный кислород, насыщение кислородом, фосфаты, сезонная изменчивость

Key words: Barents Sea, dissolved oxygen, oxygen saturation, phosphates, seasonal variability

Условия среды обитания играют важную роль в жизни морских организмов. Гидрохимические условия, в первую очередь содержание в воде биогенных элементов и кислорода, определяют формирование первичной продукции в море – начального звена трофической цепи – и влияют на многие биохимические процессы в живых организмах [1].

Изучение сезонных и межгодовых изменений гидрохимических условий будут успешными лишь при наличии продолжительных рядов данных, одним из основных источников которых служат наблюдения на стандартных разрезах. «Кольский меридиан» уникален не только по продолжительности, но и по частоте выполнений. Гидрохимические работы на нем были начаты в 1900 г., и с тех пор, уже более 120 лет, проводятся с разной частотой наблюдения за такими параметрами, как водородный показатель, щелочность, растворенный кислород, кремний, минеральный и общий фосфор, нитритный, нитратный и аммонийный азот [2]. В Полярном филиале ВНИРО собрана наиболее полная база гидрохимических данных по разрезу «Кольский меридиан» [3]. В настоящей работе использованы данные о содержании в водах разреза кислорода и фосфатов с 1926 г. (34,5 и 27,1 тыс. определений соответственно). На долю этих двух параметров приходится 75 % от всего объема гидрохимических наблюдений на разрезе (рис. 1).

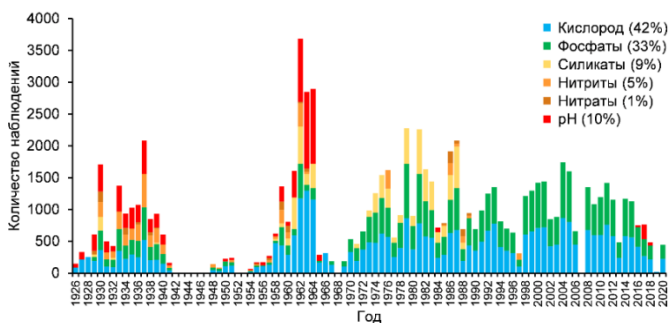


Рис. 1. Ежегодное количество гидрохимических наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» в 1926–2020 гг. (в скобках указана доля в процентах от общего объема наблюдений).

Рассмотрим сезонную изменчивость содержания растворенного в воде кислорода и фосфатов на примере станции 6 разреза «Кольский меридиан» (рис. 2), расположенной в основном потоке атлантических вод, следующих через Баренцево море [2].

Зимой (ноябрь–март) в ходе конвективного перемешивания вод, происходящего в результате интенсивного выхолаживания поверхности моря, вертикальное распределение гидрохимических параметров, как и температуры, близко к однородному. Из-за нехватки света вегетация в этот период отсутствует. Содержание растворенного в воде кислорода составляет 6,7–7,2 мл/л, а его процентное насыщение

– 89,2–97,5 %. В это же время происходит деминерализация органического вещества и накопление в водной толще биогенных веществ, содержание которых достигает сезонного максимума к концу зимы. Концентрация фосфатов во всей толще изменяется от 0,6 до 0,9 мкмоль/л, а в верхнем слое (0–50 м) возрастает от 0,6 мкмоль/л в ноябре до 0,8 мкмоль/л в марте.

В апреле количество световой энергии становится достаточным для начала активного развития первичных продуцентов: поверхностные слои пересыщаются кислородом (насыщение достигает 103 %), а за счет продолжающегося конвективного перемешивания насыщение вод кислородом свыше 100 % проникает до глубины 80 м. Содержание кислорода в слое 0–30 м возрастает до 7,5–7,6 мл/л, а концентрация фосфатов снижается до 0,6 мкмоль/л в результате их потребления первичными продуцентами в процессе фотосинтеза.

Максимум пересыщения кислородом наблюдается в мае в слое 0–20 м (109,6–111,4 % или 8,0–8,2 мл/л). В теплый период года (июнь–сентябрь) насыщение поверхностных вод кислородом превышает 100 %, уменьшаясь от 107,3–109,3 % (7,7–7,8 мл/л) в июне до 100,7–101,0 % (6,8 мл/л) в сентябре. Толщина слоя воды, пересыщенной кислородом, максимальна (80 м) в апреле–мае, затем она плавно уменьшается до 26–27 м в августе–сентябре.

Содержание фосфатов в верхнем слое постепенно сокращается в период вегетации за счет их потребления первичными продуцентами и достигает минимума (<0,2 мкмоль/л в слое 0–20 м) в июле–августе

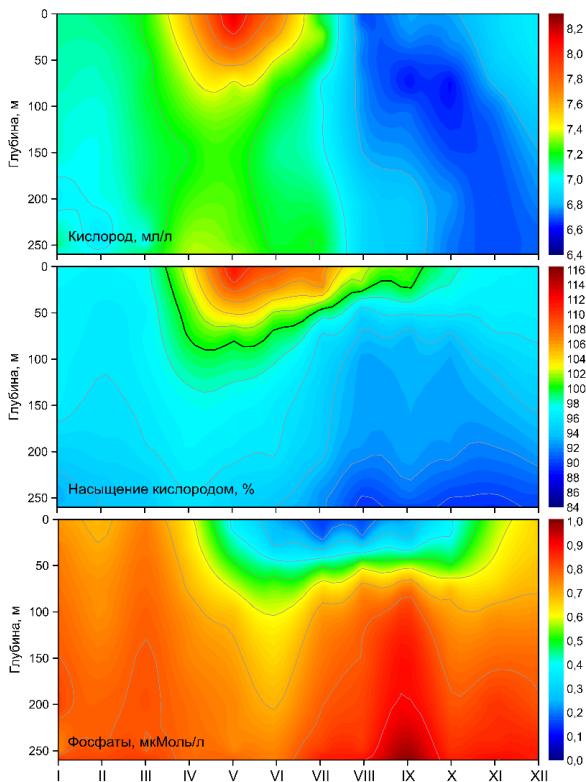


Рис. 2. Среднегодовое распределение кислорода и фосфатов помесячно на станции 6 разреза «Кольский меридиан».

С сентября в результате замедления и дальнейшего прекращения вегетации, а также активной деминерализации органического вещества происходит рост в верхнем слое концентрации фосфатов, достигающей в октябре 0,4 мкмоль/л. В течение всего года содержание фосфатов с глубиной увеличивается, наибольшие значения отмечаются в придонных водах в августе–сентябре, что связано с постепенным осаждением отмирающего органического вещества, которое активно образовывалось в предыдущие месяцы, в нижележащие слои и его деминерализацией в глубинных и придонных водах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Несветова, Г. И. Гидрохимические условия функционирования экосистемы Баренцева моря / Г. И. Несветова. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2002. – 295 с.
2. Карсаков, А. Л. 120 лет океанографических наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» / А. Л. Карсаков, А. Г. Трофимов, М. Ю. Анциферов, В. А. Ившин, М. А. Губанищев. – Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2022. – 145 с.
3. Титов, О. В. Гидрохимический атлас Баренцева моря. 2003 г. (пространственно-временная изменчивость содержания кислорода и минерального фосфора в водной толще) / О. В. Титов, Г. И. Несветова. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2003. – 148 с.

УДК 551.35

ОКИСЛИТЕЛЬНО - ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Гурова Ю. С., Гуров К. И., Медведев Е. В., Орехова Н. А.

*ФГБУН ФИЦ Морской гидрофизический институт РАН,
299011, Российская Федерация, Севастополь, ул. Капитанская,
дом 2,
8(8692) 54-70-13, secretary@mhi-ras.ru*

НАЗВАНИЕ ДОКЛАДА (на английском языке)

Gurova Y. S., Gurov K. I., Medvedev E. V., Orekhova N. A.

*FSBSI FRC Marine Hydrophysical Institute of RAS, 2, Kapitanskaya
Str. 299011, Sevastopol*

Проведена оценка окислительно-восстановительных условий в донных отложениях Южного берега Крыма. Получены пробы как поверхностного слоя отложений, так и колонки. Показано, что в настоящее время в донных отложениях сформированы преимущественно восстановительные условия.

An assessment of redox conditions in bottom sediments of the Southern Coast of Crimea was carried out. Samples of both the surface layer of sediments and the cores were obtained. It has been shown that currently, predominantly reducing conditions have formed in bottom sediments.

Ключевые слова: донные отложения, поровые воды, Eh, pH, Черное море.

Key words: bottom sediments, pore waters, Eh, pH, Black Sea.

Прибрежные экосистемы Черного моря характеризуются высоким уровнем биоразнообразия, используются для марикультуры и рыбного промысла, а также служат зонами рекреации. Это подчеркивает их важность в социально-экономическом контексте региона. При этом прибрежные районы подвергаются наибольшей антропогенной нагрузке относительно глубоководной части моря.

Донные отложения представляют собой сложную многокомпонентную систему, которая служит индикатором состояния морских экосистем. Комплексное изучение донных отложений позволяет исследовать биогеохимические процессы, протекающие в морской среде, а также оценить не только текущее состояние экосистемы, но и выявить механизмы, которые могут привести к её изменениям в будущем [1, 2]. Стоит отметить, что мониторинг геохимических характеристик донных отложений и химического состава поровых вод в исследуемом районе, в отличие от исследований гидрологических и гидродинамических параметров водной среды, в настоящее время осуществляется эпизодически. Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) можно считать ключевым показателем для оценки состояния водных экосистем и донных отложений. Изменения ОВП могут происходить под воздействием различных антропогенных факторов, таких как загрязнение и изменение экологических условий. При протекании восстановительных процессов донные отложения могут становиться источником вторичного загрязнения вод, что связано с миграцией соединений металлов и биогенных веществ из отложений в водную среду. Исследование ОВП позволяет проводить мониторинг качества окружающей среды и выявлять уязвимые участки.

Целью работы являлась оценка окислительно-восстановительных условий в донных отложениях Южного берега Крыма.

В ходе рейса на НИС «Профессор Водяницкий» в июне 2024 г. были отобрано 40 проб поверхностного (0–5 см) слоя, 19 колонок донных отложений длиной до 34 см, из которых путем отжима (центрифугированием) выделены поровые воды для исследования в них общей щелочности. Пробы поверхностного слоя отложений отбирали с помощью дночерпателя Петерсона. Измерение величин pH и Eh проводили в свежеотобранных пробах с помощью иономера И-160МИ.

Анализ распределения величины рН в поверхностном слое донных отложений показал, что для большинства исследованных станций были характерны слабощелочные условия (7,2 – 7,6). Минимальные значения отмечались на станциях, расположенных вблизи берега. Значения Eh были неоднородны – условия в донных отложениях изменялись от окислительных до восстановительных. Вертикально величины рН и Eh распределялись неравномерно, однако практически на всех станциях в колонках ниже слоя 20 см значения практически не изменялись. Для отдельных станций, находящихся в районах с повышенной антропогенной нагрузкой (г. Ялта, г. Судак, Феодосийский залив), значения Eh находились в восстановительной области и достигали -285mV.

Поскольку величина Eh зависит от рН, для того чтобы данные в изучаемых отложениях были сопоставимы при разных значениях рН, был вычислен показатель водородного потенциала (гН₂) по формуле [3, 4]:

$$гН_2 = Eh/29 + 2рН$$

Показатель водородного потенциала описывает суммарное окислительно-восстановительное состояние, которое определяется не только концентрациями (парциальным давлением) кислорода и водорода, но и другими окислителями и восстановителями в среде. Таким образом, гН₂ дает представление о том, какие процессы преобладают – окислительные или восстановительные. В соответствии с установленной градацией, значения гН₂ выше 27 указывают на преобладание окислительных процессов, в диапазоне 22–25 – на восстановительные, а ниже 20 – на интенсивные восстановительные процессы. Установлено, что на всех исследованных станциях гН₂ был значительно ниже 20, т.е. интенсивные восстановительные процессы.

Для поровых вод донных отложений получены величины общей щелочности и проанализирована ее связь с физико-химическими характеристиками отложений. Отмечено, что величины общей щелочности изменялись в широком диапазоне от 3,3 мкмоль/л? Или кг? на мелководных станциях до 13,8 мкмоль на глубоководных станциях. Отмечена положительная корреляционная зависимость распределения общей щелочности от рН в поверхностном слое отложений (0,6) и высокая отрицательная корреляционная связь (-0,71) с величиной Eh в поверхностном слое отложений.

Показано, что отмеченные в настоящее время окислительно-восстановительные характеристики донных отложений указывают на формирование восстановительных условий, что может в будущем

привести к развитию в исследуемом районе зон дефицита кислорода в придонном слое вод и ухудшению условий существования живых организмов.

Работа выполнена в рамках темы Госзадания FNNN-2025-0001 «Мониторинг концентрации CO₂ в поверхностном слое вод и атмосфере во внутренних морях России».

ЛИТЕРАТУРА

1. Куфтаркова, Е. А. Гидрохимический режим района, прилегающего к бухте Омега, и факторы, его формирующие / Е. А. Куфтаркова, Н. П. Ковригина, Н. Ю. Родионова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, - 1999. - С.175–189.;
2. Миронов, О. Г. Экологическая характеристика бухты Казачьей (Черное море) / О. Г. Миронов, Л. Н. Кирюхина, С. В. Алёмов // Экология моря. Сборник научных трудов ИнБЮМ НАНУ. - 2002. - Вып. 61. - С. 85–89.
3. Тихонова Е. А. Оценка уровня загрязнения донных отложений крымского побережья Чёрного и Азовского морей / Е. А. Тихонова, О. В. Соловьёва, Е. А. Котельянец // Принципы экологии. - 2016. - № 5. - С. 56–70.
4. Ганжара, Н. Ф. Почвоведение.: Агроконсалт, - 2001. - 392 с.

УДК 551.465

КАЙНОЗОЙСКАЯ КИНЕМАТИКА ОКЕАНИЧЕСКОЙ КОРЫ ЮГА КОТЛОВИНЫ АМУНДСЕНА: ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЭВОЛЮЦИИ (ЕВРАЗИЙСКИЙ БАССЕЙН, СЕВЕРНЫЙ ЛЕДОВИТЫЙ ОКЕАН)

**Сажнева А.Э., Шрейдер А. А., Клюев М.С., Бреховских А. Л.,
Ракитин И. Я., Кононов М. В., Евсенко Е. И.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997, Москва, Нахимовский пр-т, 36,
alexe@ocean.ru, aschr@ocean.ru,*

CENOZOIC KINEMATICS OF THE OCEANIC CRUST OF THE SOUTH OF THE AMUNDSEN BASIN: ASSESSMENT OF THE PARAMETERS OF EVOLUTION (EURASIAN BASIN, ARCTIC OCEAN)

Schreider A.A., Sazhneva A. E., Klyuev M. S., Brekhovskikh A. L. Rakitin I. Ya., Kononov M. V., Evsenko E. I.

¹*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36, Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

В статье сделана попытка количественно оценить параметры и улучшить наши знания о кинематике юга котловины Амундсена в кайнозое. Это стало возможным благодаря комплексному геолого-геофизическому анализу, имеющихся данных о строении рельефа дна, параметров седиментации и поверхности акустического фундамента.

The article attempts to quantify the parameters and improve our knowledge of the kinematics of the south of the Amundsen basin in the Cenozoic. This became possible thanks to a comprehensive geological and geophysical analysis, available data on the structure of the bottom relief, sedimentation parameters and the surface of the acoustic foundation.

Ключевые слова: Арктика, юг котловины Амундсена, кинематика и эволюция литосферы

Keywords: Arctic, south of the Amundsen basin, kinematics and evolution of the lithosphere

Бассейн юга котловины Амундсена окружают континентальный склон моря Лаптевых, отделенный от котловины Хатангско-Ломоносовской системой разломов, на востоке он ограничен континентальными структурами хребта Ломоносова, а на западе ультра медленным спрединговым хребтом Гаккеля. Проводить исследования в этом районе в ледовых условиях не просто. В настоящем исследовании используются тщательно отобранные современные материалы с современными технологиями навигации, что делает эти материалы ценнейшим материалом для оценки и уточнения картины эволюции дна юга котловины Амундсена на современном уровне. Юг котловины

Амундсена характеризуется большим размахом глубин рельефа от сотен метров до нескольких километров.

В соответствии с современными исследованиями, интерпретации и реинтерпретации линейных магнитных аномалий по современной шкале линейных магнитных аномалий на юге котловины Амундсена выделяются линейные магнитные аномалии от C2An.3n до C26n. Из тщательно отобранных данных и сравнения их с модельными, получена карта-схема расположения линейных магнитных аномалий на юге котловины Амундсена. Построение схемы выполнена на основе тщательно отобранных данных с современными системами навигационной привязка. Возраст концов древнейших блоков палеоаномалии составляет для C2An.3n - 3.596 млн. лет, C5n.2n - 11.056 млн. лет, C6n - 19.722 млн. лет, C13n - 33.705 млн. лет, C18n.2n - 40.145 млн. лет, C20n - 43.432 млн. лет, C24n.3n - 53.983 млн. лет, C25n - 57.656 млн. лет, C26n - 59.237 млн. лет. Это улучшает и конкретизирует представления об развитии морского дна бассейна на современном уровне. В результате можно выделить 4 этапа эволюции спрединга хребта Гаккеля. На первом мел-палеогеновом этапе, до начала формирования палеоаномалии A26, на евразийской окраине получили существенное развитие процессы растяжения, перешедшие в рифтинг. В процессе рифтинга заложились ослабленные зоны и связанные с ними трещины раскола, по которым около 60 млн. лет назад началось отторжение сибирской материковой окраины с формированием хребта Ломоносова. На втором этапе эволюции рифтинг перешел в спрединг, а скорость наращивания новой океанической коры в интервале палеоаномалий A26-A24 (59-53 млн. лет назад) составляла более 1.5 см/год. При этом северный фланг хребта Гаккеля наращивался интенсивнее южного. Третий этап характеризовался прогрессивным замедлением процесса разрастания дна, минимум которого со скоростями спрединга до 0.3 см/год пришелся на время формирования палеоаномалий A13-A6 (30-20 млн. лет назад). Четвертый этап наращивания новой океанической коры начался позднее времени палеоаномалии A6 и характеризуется некоторым увеличением скоростей спрединга до 0.6 см/год.

На ряду с анализом распределения линейных магнитных аномалий проводился и анализ сейсмических данных.

Проведенные сейсмические измерения позволили впервые оценить процесс эволюции морского дна в кайнозой для юга котловины Амундсена. Эти данные несут независимую информацию о спрединге на юге котловины, подкрепляя и подтверждая имеющиеся сведения о эволюции акустического фундамента региона в кайнозой. Они

улучшают уже известную картину разрастания дна в региональном масштабе. Как можно заметить режим перестройки дна существенно менялся между 20 -30 млн. назад (рис. 3 и рис. 4). Можно предполагать, это связано с присоединением Гренландии к Северо-Американской плите и открытием пролива Фрама.

Рассмотрена характеристика глубины акустического фундамента от мощности осадком. Как видно, пригибание акустического фундамента происходило синхронно с заполнением котловины осадками. Акустический фундамент заглубляется от 4 километров до 7 километров при изменении возраста коры от 20 млн. до 60 млн. Это соответствует закономерности развитие океанической коры в общепланетарном масштабе. Проведенный научный анализ материалов позволил оценить и улучшить картину развития этой части региона, подтвердив уже проводившиеся оценки для региона Евразийского бассейна в целом и улучшить представления этих оценок на более меньшем масштабе. Это важно для понимания региональной тектоники Северного Ледовитого океана как части народнохозяйственной деятельности России в данном регионе, подтверждая исторический суверенитет России над этим регионом.

Настоящая работа выполнена в рамках Государственного задания FMWE-2024-0018.

УДК 634.67

БЕЗБАЛЛАСТНЫЕ САМОВСПЛЫВАЮЩИЕ ДОННЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ – НОВЫЙ ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ 3Д СЕЙСМОРАЗВЕДКИ В ТРАНЗИТНОЙ ЗОНЕ

Ильинский Д.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997, Москва, Нахимовский пр., 36, 8(499)124-13-01,
dilinskiy61@mail.ru*

BALLAST FREE SELF-POPUP SEABED SEISMIC NODES ARE A NEW EFFECTIVE TOOL FOR 3D SEISMIC EXPLORATION IN THE TRANSITION ZONE

Ilinskiy D.A.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia.*

В статье описана мотивация создания новых приборов для донной сейсморазведки в транзитной зоне, показаны преимущества предложенного подхода. Дано описание макетного образца прибора и результаты натурных испытаний.

The article describes the motivation for creating new devices for bottom seismic exploration in the transit zone, and shows the advantages of the proposed approach. A description of the model sample of the device is given and the results of its field tests are given.

Ключевые слова: 3Д сейсморазведки в транзитных зонах, безбалластные самовсплывающие донные сейсмические станции.

Key words: 3D seismic surveys in transit zones, ballast-free self-popup seismic nodes.

В настоящее время, технологии использования донных регистраторов занимают все больше и больше места в общем объеме сейсморазведочных работ на мелководье. Это связано, прежде всего, с простотой их использования и надежностью работы электроники и датчиков, легкой масштабируемостью. Более того, популярность автономной регистрации привела к выходу ее на сушу, где конструкция каждого автономного модуля еще проще и дешевле, а количество каналов технически, ничем не ограничено.

Существующая на настоящее время технология постановки/подъема донных станций связанных в гирлянду веревкой обладает рядом естественных ограничений. Работа такой системы требует сноровки и любая задержка при прикреплении станции к фалу оборачивается риском порвать или запутать основную веревку, а вероятность и возможность приблизить положение станций на дне к запланированной позиции гораздо хуже, чем у самовсплывающей

технологии. С ростом глубины, точность укладки станций в заранее запланированные позиции на дне падает. Ряд компаний автоматизировали процесс подъёма/постановки станций на веревке. После подъёма гирлянды станций на судно, станции отцепляются от троса и попадают на транспортный конвейер внутри судна для доставки к месту копирования данных и подзарядки. Там робот вставляет разъем в каждый донный модуль, а потом отсоединяет разъем, ставит готовый модуль на конвейер и транспортирует его к месту сцепления с тросом для последующей постановки на дно. Данная система является громоздкой и требует наличия специализированного судна-носителя, которое имеет ограничения по глубине, поэтому работы в транзитной зоне проводятся в полу-ручном режиме.

Для сейсмической разведки в транзитной зоне (глубины воды от 0 до 20 метров) на шельфе необходимо найти эффективное решение для ее автоматизации и безопасного проведения. Существующие технологии используют большой объем небезопасного ручного труда [1, 2]. Мы предлагаем инновационное решение для проблемы автоматизации донных сейсмических съёмок на мелководье. Основным элементом этой системы должна стать самовсплывающая станция, обладающая рядом специальных свойств, которые сделают возможным применение роботизированных плавучих платформ. Новая донная станция должна быть компактной самовсплывающей 4-х компонентной и работать без оставления груза на дне, имея возможность в автономном режиме много раз ходить на дно и возвращаться к поверхности моря. Для многократного всплытия без оставления груза на дне используется технология работы со сжатым воздухом под водой, которая сейчас широко применяется ныряльщиками.

Другим базовым элементом предлагаемой технологии являются надводные роботизированные платформы для постановки на дно и сбора со дна самовсплывающих станций без оставления груза на дне. Роботизированные платформы работают без участия или с минимальным участием персонала, что автоматически приведет к значительному снижению затрат на сейсмические работы, увеличивает скорость проведения работ и значительно повысит безопасность и безаварийность работ для участвующего в них персонала.

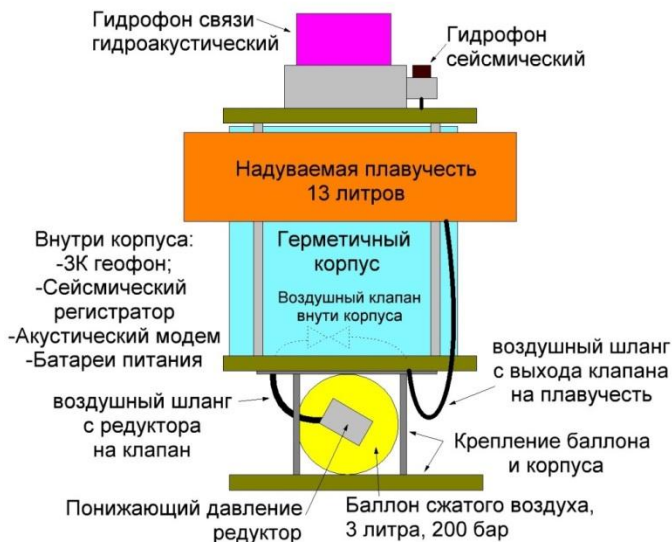


Рис. 1. Схема самовсплывающей сейсмической донной станции без оставления груза на дне.

На рис. 1. Представлена схема самовсплывающей донной сейсмической станции, которая работает без оставления груза на дне. Станция состоит из герметичного корпуса, выдерживающего погружение до глубин 200 метров, в котором расположен 3-х компонентный 5 Гц геофон, 4-х компонентный сейсмический регистратор, гидроакустический модем и комплект литий-ионных аккумуляторов. Автономность записи сейсмических данных – до 45 дней. На верхней крышке герметичного корпуса расположен гидроакустический трансдьюсер для приема команд на всплытие и измерение расстояния до станции с внешнего терминала, а также сейсмический гидрофон. Внешние датчики связаны с расположенным внутри корпуса регистратором через водонепроницаемый герметичный разъем. Верхняя крышка прибора выполнена из прозрачного акрила, который пропускает сигналы спутниковой навигации для синхронизации внутренних часов регистратора, а также пропускает свет наружу, от светодиода, который активируется после всплытия, для облегчения поиска всплывшей станции на поверхности моря. Кроме того, через прозрачную крышку прибора можно наблюдать за 4-мя светодиодами, которые сообщают о режиме работы станции и сигнализируют о возникшей неисправности в её работе.

Герметичный корпус закреплён на нержавеющей раме, в которую вмонтирован баллон со сжатым воздухом, объёмом 3 литра и максимальным давлением 200 бар. К баллону прикреплен понижающий редуктор давления, который уменьшает выходное давление из баллона до давления окружающей среды плюс 9,5 бар. От редуктора сжатый воздух поступает через герметичные соединения в дне корпуса на пневматический нормально закрытый клапан. По полученному по акустике сигналу на всплытие, пневматический клапан открывается и сжатый воздух по выходной герметичной воздушной магистрали поступает во внешнюю плавучую ёмкость, объёмом 13 литров, после наполнения ёмкости клапан опять перекрывается, сохраняя воздух для следующих всплытий. Подъёмная плавучесть имеет клапан сброса излишнего давления, возникающего по мере всплытия на поверхность моря. Чтобы привести выловленную станцию на борту судна опять в рабочее положение для постановки на дно, достаточно потянуть за тросик этого клапана и выпустить воздух из надувной плавучести. Станция имеет быстрый беспроводный интерфейс для скачивания данных и изменения режимов ее работы. Переключение режимов осуществляется с помощью простого магнита. В октябре 2024 года 4 опытных образца описанной станции были испытаны в море в районе Голубой бухты г. Геленджика, на глубинах от 5 до 100 м. Испытания проводились как в пассивном режиме, так и с активным сейсмическим источником. В докладе представлены результаты испытаний и сравнения данных с существующими станциями, а также обсуждаются дальнейшие перспективы работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильинский Д. А., Ганжа О.Ю., Корнеев А. А. Донные сейсмические наблюдения на море: проблемы и методы их решения// Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова Т. 3 2024, С 45—52.
2. Ильинский Д. А., Коган Л. И., Рогинский К. А., Хортов А. В. Пути автоматизация геофизических исследований на акваториях //Труды конференции MARESUDU 2023, Т. 16. №3, С. 45-53.

**ПРЕДВОРИТЕЛЬНАЯ СЕЙСМОТСТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ
СХЕМА ПЛИОЦЕН-ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНОВ БЕРИНГОВА МОРЯ**

**Буданов Л. М., Жамойда В. А., Сергеев А. Ю., Рябчук Д. В.,
Неевин И. А., Фатеев Д. С.**

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт
имени А. П. Карпинского (Институт Карпинского), 199106, Санкт-
Петербург, Средний пр. В.О., 74, +7(812)3289282,
info@karpinskyinstitute.ru*

**PRELIMINARY SEISMIC STRATIGRAPHY OF THE COASTAL
AREAS OF THE BERING SEA PLIOCENE-QUATERNARY
DEPOSITS.**

**Budanov L. M., Zhamoyda V. A., Sergeev A. Yu., Ryabchuk D. V., Neevin
I. A., Fateev D. S.**

*The All-Russian Geological Research Institute of A.P. Karpinsky
(Karpinsky Institute), 199106, St. Petersburg, Sredny Ave., Vasilyevsky
Island, 74, +7(812)3289282, info@karpinskyinstitute.ru*

Тезис посвящен изучению геологического строения и палеогеографии прибрежного шельфа Берингова моря в неоплейстоцене – голоцене на основе новых комплексных геолого-геофизических данных, полученных в 2021 г. «Институтом Карпинского» в ходе проведения государственной геологической съемки масштаба 1:1 000 000, включавших 1150 км сейсморазведки сверхвысокого разрешения, гидролокацию бокового обзора, многолучевое эхолотирование, подводную видеосъемку и отбор проб донных отложений. В сейсмических разрезах выделены региональные отражающие горизонты, что позволило охарактеризовать и проследить распространение пяти сейсмотолщ, охватывающих плиоцен-четвертичное время.

The thesis is devoted to the study of the geological structure and paleogeography of the Bering Sea coastal shelf in the

Neopleistocene–Holocene based on new comprehensive geological and geophysical data obtained in 2021 by the Karpinsky Institute during the state geological survey at a scale of 1:1,000,000. The survey included 1,150 km of ultra-high resolution seismic exploration, side-scan sonar, multibeam echo sounding, underwater video shooting, and sampling of bottom sediments. Regional reflecting horizons were identified in seismic sections, which made it possible to characterize and trace the distribution of five seismic strata covering the Pliocene–Quaternary time.

Ключевые слова: Восточная арктика, Берингово море, шельф, сеймостратиграфия, сейсморазведка сверхвысокого разрешения, сейсмотолща, отражающий горизонт, неоплейстоцен – голоцен.

Key words: Eastern Arctic, Bering Sea, shelf, seismic stratigraphy, ultra-high resolution seismic exploration, seismic strata, reflecting horizon, Neopleistocene–Holocene.

В 2021 году специалисты Института Карпинского провели комплексные полевые исследования в прибрежных районах Берингова моря (рис. 1). В рейсе были использованы гидролокация бокового обзора, сейсмическое профилирование различной детальности, подводное фототелепрофилирование и донный пробоотбор как поверхностный, так и с отбором грунтовых колонок. На основе полученных данных и результатов предыдущих исследований был составлен комплект геологических карт масштаба 1:1 000 000. Выполнено сеймостратиграфическое расчленение осадочного чехла, определены характеристики и мощности сейсмических комплексов и сейсмотолщ, а также границы и площади развития донных отложений. Осуществлена корреляция сеймостратиграфических подразделений, выделенных в пределах акватории, со стратиграфическими подразделениями, переходящими с суши в зону шельфа [1].

По результатам анализа полученных материалов, а также данных предшествовавших среднемасштабных и крупномасштабных геологосъемочных работ, тематических исследований различных организаций в разрезе отложений четвертичного возраста выделено пять сейсмотолщ (ССТ).

ССТ 4 прослеживается на территории Берингова моря по архивным профилям МОВ ОГТ, выполненным силами ДМНГ и USGS. Выделяемый предшественниками региональный сейсмический горизонт СГ 1 [2] определяется как подошва ССТ 4, она характеризуется серией субпараллельных акустических границ.

Кровля ССТ 4 — отражающий горизонт ОГ 4 — прослеживается повсеместно на акватории Берингова моря, за исключением выходов фундамента в районе мыса Наварин. Горизонт ОГ 4 выделен по границе несогласия, на шельфе он круто падает при удалении за бровкой. Иногда кровля ССТ 4 осложнена врезами. Мощность ССТ 4 может превышать 800 метров.

Сейсмотолща ССТ 4 распространена на шельфе Берингова моря. Судя по буровым скважинам, её отложения представлены пелитовыми алевритами и реже суглинками (микритами) серого цвета. По результатам комплексных аналитических исследований, они могут быть отнесены к морским плиоцен – раннеоплейстоценовым отложениям (mN₂-I).

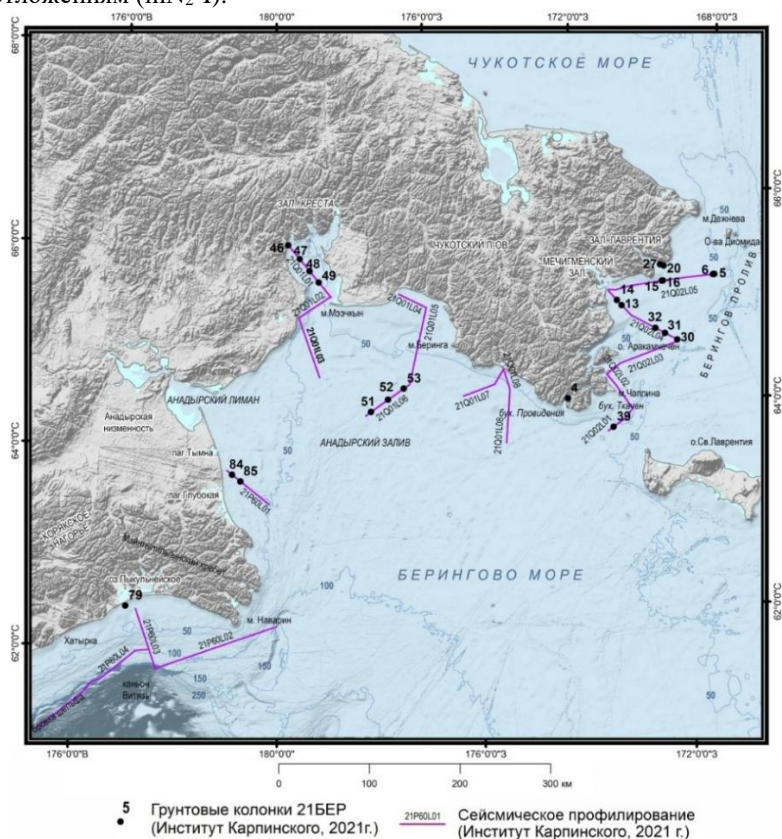


Рис. 1. Карта фактического материала геолого-геофизических работ в Беринговом море в рейсе НИС «Иван Киреев» в 2021 г.

ССТ 3 отличается сложной структурой записи и прерывистостью внутренних отражающих слоёв. Внутри толщи присутствуют внутренние границы разной протяжённости и с разными углами падения. Рефлективность в толще варьируется от высокой до акустически прозрачной, что указывает на изменчивые условия осадконакопления. Горизонт ОГ 3, ограничивающий сверху ССТ 3, хорошо фиксируется на записях НСАП. Он представляет собой относительно ровную границу, которая прослеживается на шельфе и выходит на современную поверхность дна. В случае, если горизонт ОГ 3 погребён, он осложнён врезами, впадинами и выступами.

Отложения ССТ 3 залегают на более древних образованиях или цоколе с явным размывом и перекрываются верхнеоплейстоценовыми осадками. Предполагается, что они накапливались в среднем неоплейстоцене. Отложения ССТ 3 вскрыты в верхней части разреза колонки 21БЕР-5 (190 см), но приповерхностные 37 см представляют собой горизонт размыва — могут быть отнесены к подводному элювию (перлювию).

В прибрежной зоне южнее мыса Наварин и в заливе Креста выделен отражающий горизонт, схожий по акустическому облику с ОГ 3 – ОГ G. Этот горизонт — кровля сейсмотолщи, представленной, судя по геоморфологическим признакам, ледниковыми отложениями (ССТ G). Вне заливов акустический облик ССТ G схож с ССТ 3: внутри неё границы представлены отражающими площадками средней протяжённости и интенсивности.

ССТ G, перекрывающая ССТ 3 в пределах Анадырского залива, отнесена к ледниковым отложениям. Беринговом проливе ССТ 3 часто выклиниваются, и тогда отложения ССТ G залегают на более древних образованиях, но иногда они перекрывают осадки подтолщи ССТ 2, накопление которых предположительно происходило на начальной стадии позднего неоплейстоцена (МИС 5).

ССТ 2 характеризуется серией субгоризонтальных протяженных отражающих границ малой и средней интенсивности. Серии становятся менее четкими при уменьшении мощности толщи, которая сопоставляется с морскими отложениями первой ступени верхнего неоплейстоцена (smIII). Отложения ССТ 2, преимущественно глинистого состава, заполняют локальные понижения в кровле нижележащих толщ, как-бы нивелируя их. Кровля сейсмотолщи – горизонт ОГ 2 – относительно ровная субгоризонтальная граница средней интенсивности, осложненная на северо-востоке листа немногочисленными врезами. Граница четко фиксируется на записях НСАП и высокочастотного профилографа.

ССТ 1, сопоставляемая с морскими отложениями голоцена, в седиментационных бассейнах по инфраструктуре схожа с ССТ 2, но для отражений характерная меньшая амплитуда сигнала. В прибрежной части вне современных седиментационных бассейнов ССТ 1, интерпретируемая в этом случае, как песчаные отложения затопленных аккумулятивных форм, отличается либо акустически прозрачной инфраструктурой записи, либо наклонными отражающими сигналами. Отложения толщи ССТ 1 накапливались в пресноводных условиях в конце неоплейстоцена – начале голоцена (Ш4-Н1) во время существования последнего сухопутного перешейка через Берингов пролив.

Собранный в ходе полевых работ геолого-геофизический материал позволил существенно детализировать представления о геологическом строении шельфа Берингова моря. На основании полученных данных выделено сейсмостратиграфическое расчленение отложений плиоцен-четвертичного возраста, установлены сейсмофациальные характеристики и определены мощности выделяемых сейсмотолщ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-77-10058, <https://rscf.ru/project/24-77-10058/>.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Жамойда Эволюция процессов морфоседиментогенеза прибрежного шельфа Берингии в условиях климатических перестроек позднечетвертичного времени / В. А. Жамойда, А. Ю. Сергеев, Л. М. Буданов [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2024. Т. 31, № 4
2. Разумный А. В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Корякско-Курильская. Лист Р-59 – Пахачи. Объяснительная записка. / Разумный А. В., Сидоренко В. И., Сапожникова Л. П., Кротова-Путинцева А. Е. и др., СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2017. 323 с.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРОВЫХ ВОД ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ

Гуров К. И., Гурова Ю. С., Медведев Е. В., Орехова Н. А.,
Вареник А. В.

*ФГБУН ФИЦ Морской гидрофизический институт РАН,
299011, Российская Федерация, Севастополь, ул. Капитанская,
дом 2,
8(8692) 54-70-13, secretary@mhi-ras.ru*

CHARACTERISTICS OF THE BOTTOM SEDIMENTS PORE WATER IN THE SEVASTOPOL BAY

Gurov K. I., Gurova Y. S., Medvedev E. V., Orekhova N. A., Varenik A. V.

*FSBSI FRC Marine Hydrophysical Institute of RAS, 2, Kapitanskaya
Str. 299011, Sevastopol*

Проведена оценка окислительно-восстановительных условий в донных отложениях Севастопольской бухты. Получены количественные характеристики и особенности пространственного распределения в поверхностном слое отложений биогенных элементов и параметров карбонатной системы.

An assessment of redox conditions in the bottom sediments of Sevastopol Bay was carried out. Quantitative characteristics and features of the spatial distribution of biogenic elements and parameters of the carbonate system in the surface layer of sediments were obtained.

Ключевые слова: донные отложения, поровые воды, Eh, pH, биогенные элементы, Севастопольская бухта.

Key words: bottom sediments, pore waters, Eh, pH, nutrients, Sevastopol Bay.

Прибрежная зона Крымского полуострова играет важную роль в экономическом развитии Азово-Черноморского региона за счет интенсивного использования ее биологического, минерального, рекреационного потенциалов, что в последние годы стало причиной значительного увеличения антропогенной нагрузки [1].

Севастопольская бухта является характерным примером акватории,

подверженной значительной антропогенной нагрузке и относится к такому типу экосистем, в которых накопление органических веществ в донных отложениях значительно преобладает над их разложением [2]. При оценке уровня антропогенной нагрузки в водных экосистемах одним из наиболее информативных объектов изучения являются донные отложения. Однако, несмотря на систематическое исследование донных отложений, в том числе химического состава их поровых вод, данных о количественных характеристиках и особенностях пространственного распределения в поровых водах параметров карбонатной системы крайне мало, а данные о содержании биогенных элементов и вовсе отсутствуют.

Поэтому целью данной работы являлось исследование химического состава поровых вод донных отложений и оценка окислительно-восстановительных условий в них на примере Севастопольской бухты. Пробы донных отложений поверхностного (0–5 см) слоя были отобраны в рамках ежеквартальных экспедиций отдела биогеохимии моря Морского гидрофизического института РАН на маломерном судне «Гидрограф-4». Всего в различные гидрологические сезоны (весна, лето, осень) было отобрано 50 проб донных отложений.

В поверхностном слое донных отложений Севастопольской бухты наблюдается преимущественно слабощелочная восстановительная среда – величины pH и Eh изменяются в диапазоне от 7,1 до 7,8 и от 0 мВ до минус 270 мВ соответственно.

Особенности пространственной динамики величин Eh определялись географическими особенностями расположения и гидродинамическим режимом вод. В частности, затрудненный водообмен вследствие изолированности от открытой части моря и повышенная антропогенная нагрузка способствуют накоплению илистого материала и органического углерода, что сопровождается потреблением кислорода. В этих районах преобладают восстановительные условия (Eh= минус 170 мВ).

Особенности пространственного распределения и динамики величины pH поверхностного слоя отложений объясняются рядом факторов как природного (тип отложений), так антропогенного (наличие источников поступления взвешенного вещества и органического углерода, биогенных элементов) происхождения [3, 4]. Полученные величины, как и характер их распределения, и связь с характеристиками отложений согласуются с данными, полученными для прибрежных районов шельфа и значительно отличаются от глубоководных отложений.

Для поровых вод донных отложений впервые получены данные о

величине общей щелочности, проанализированы особенности ее пространственного распределения и связь с физико-химическими характеристиками твердой фазы донных отложений.

Значения величины общей щелочности поровых вод донных Севастопольской бухты изменяются от 4 до 21 мкмоль/л со средним значением 9 мкмоль/л, что в несколько раз превышает величины, полученные для прибрежных районов Крымского п-ова. Это объясняется изолированностью акватории бухты, наличием большого количества источников ливневых и коммунальных стоков, а также вкладом речного стока в восточной части бухты. Максимальные значения были отмечены в кутовой восточной части (16 мкмоль/л) в зоне взаимодействия речных, пресных и морских вод из бухты, а также под плавучим доком (21 мкмоль/л). Анализ пространственного распределения величин показал, что значения общей щелочности поровых вод донных отложений увеличиваются от станций, расположенных у выхода из бухты (4 мкмоль/л) к центральной части бухты (7 мкмоль/л). Установлено, что пространственное изменение величины общей щелочности поровых вод для донных отложений Севастопольской бухты в отличие от открытых районов Черного моря не так тесно связано с физико-химическими характеристиками донных отложений.

Дополнительно в отобранных пробах поровых вод донных отложений впервые для акватории Севастопольской бухты было выполнено измерение содержания основных биогенных веществ (фосфаты, кремнекислота, аммонийный азот, нитраты и нитриты). В результате анализа полученных количественных характеристик и особенностей их пространственного распределения была выявлена сезонная изменчивость, установлены связи с географическим расположением станций, типом донных отложений и геохимическими характеристиками их твердой фазы.

Анализ полученных результатов показал, что особенности пространственного распределение физико-химических характеристик твердой фазы донных отложений и характеристик химического состава поровых вод для акватории Севастопольской бухты определяются совместным влиянием ряда факторов, среди которых основными можно выделить различную степени антропогенной нагрузки, гидродинамический режим акватории и седиментацию взвешенного вещества. Кроме того, влияние физико-химических характеристик на химический состав и свойства поровых вод для различных районов также неоднородны и требуют дальнейшего изучения.

Работа выполнена в рамках тем Госзадания FNNN-2025-0001 «Мониторинг концентрации CO₂ в поверхностном слое вод и атмосфере во внутренних морях России» и FNNN-2024-0001 «Фундаментальные исследования процессов, определяющих потоки вещества и энергии в морской среде и на ее границах, состояние и эволюцию физической и биогеохимической структуры морских систем в современных условиях».

ЛИТЕРАТУРА

1. Петренко, О. А. Результаты многолетних исследований уровня загрязнения морской среды Азово-Черноморского рыбохозяйственного бассейна / О. А. Петренко, С. С. Жугайло, Т. М. Авдеева // Труды ЮгНИРО. – 2015. – Т. 53. – С. 4–18.
2. Гурова, Ю. С. Численное моделирование динамики окислительно-восстановительных условий на границе вода – донные отложения в Севастопольской бухте / Ю. С. Гурова, Е. В. Якушев, А. В. Березина, М. О. Новиков, К. И. Гуров, Н. А. Орехова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2023. – №2. – С. 71–90. doi: 10.29039/2413-5577-2023-2-71-90.
3. Орехова Н. А., Вареник А.В. Современный гидрохимический режим Севастопольской бухты / Н. А. Орехова, А. В. Вареник // Морской гидрофизический журнал. – 2018. – Т. 34, № 2. – С. 134–146. – EDN YNHCQR. – DOI: 10.22449/0233-7584-2018-2-134-146.
4. Кондратьев С. И., Орехова Н.А. Потенциальные угрозы экологическому состоянию вод Севастопольской бухты / С. И. Кондратьев, Н. А. Орехова // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2023. – (6). – С. 3–14. – DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.6.1.

УДК 551.462

КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРЕДПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ ГЕНЕЗИС ПОКМАРКОВ КОПОРСКОГО ЗАЛИВА (БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ)

**Румянцева А. К.¹, Буданов Л. М.¹, Жамойда В. А.¹, Фатеев Д. С.¹,
Дорохов Д. В.², Дудков И. Ю.²**

¹*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А. П. Карпинского (Институт Карпинского), 199106, Санкт-Петербург, Средний пр. В.О., 74, +7(812)3289282,*

info@karpinskyinstitute.ru

²*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, г. Москва, Нахимовский просп., 36, +7(499)1246149, office@ocean.ru*

CLASSIFICATION AND PRESUMABLE GENESIS OF POCKMARKS OF THE KOPORSKY BAY (BALTIC SEA)

Rumyancheva A. K.¹, Budanov L. M.¹, Zhamoida V. A.¹, Fateev D. S.¹, Dorokhov D. V.², Dudkov I. Yu.²

¹*The All-Russian Geological Research Institute of A.P. Karpinsky (Karpinsky Institute), 199106, St. Petersburg, Sredny Ave., Vasilyevsky Island, 74, +7(812)3289282, info@karpinskyinstitute.ru*

²*Institute of Oceanology of P.P. Shirshov RAS, 117997, Moscow, Nakhimovsky Prospect, 36, +7(499)1246149, office@ocean.ru*

Работа представляет текущий уровень изученности поля распространения покмарков северо-восточной части Копорского залива (Финский залив) в ходе проведения государственного задания по объекту «Государственный мониторинг состояния недр по территории Российской Федерации в 2023-2025 годах (прибрежно-шельфовые зоны Белого, Баренцева и Балтийского морей)». В рамках аналогичных проектов проведено картирование покмарков в 2011, 2012, 2013, 2016, 2019, 2020-2022, 2023 гг. Работы включали донный пробоотбор для определения гидрохимических аномалий поровых вод в осадках, прокладку сети линейных записей гидролокации бокового обзора (ГЛБО), непрерывного сейсмоакустического профилирования, а также, в 2011 году, многолучевого эхолотирования (МЛЭ). В 2024 г. записи МЛЭ были получены в рамках научно-исследовательской работы ИО РАН «Эволюция ключевых природных комплексов Атлантического океана и Балтийского моря: современное состояние и палеореконструкции». Происхождение покмарков в Копорском заливе остается неясным, поэтому для отслеживания динамики этого экзогенного геологического процесса и связанных с ним опасностей используются все доступные данные.

The work presents the current study level of the distribution field of pockmarks in the northeastern part of the Koporsky Bay (Gulf of Finland) during the state assignment for the object “State monitoring of the subsurface conditions in the territory of the Russian Federation in 2023-2025 (coastal-shelf zone of the White, Barents and Baltic Seas)”. As part of similar projects, the mapping of pockmarks has been carried out in 2011, 2012, 2013, 2016, 2019, 2020-2022, 2023. The work included bottom sampling to determine hydrochemical anomalies of pore waters in sediments, making the network of linear side-scan sonar recordings (SSS), continuous seismoacoustic profiling, as well as, in 2011, multibeam echo sounding (MBES). In 2024, MBES recordings were obtained as part of the scientific research work of the IO RAS “Evolution of key natural complexes of the Atlantic Ocean and the Baltic Sea: current state and paleoreconstructions”. The genesis of the pockmarks in the Koporsky Bay remains unclear, therefore, all available data is used to track the dynamics of this exogenous geological process and the associated hazards.

Ключевые слова: Копорский залив, покмарки, картирование, гидролокация бокового обзора, многолучевое эхолотирование, донный пробоотбор, гидрохимические аномалии, экзогенный геологический процесс.

Key words: Koporsky Bay, pockmarks, mapping, side-scan sonar, multibeam echo sounding, bottom sampling, hydrochemical anomalies, exogenous geological process.

В 2024 году специалистами отдела Региональной геоэкологии и морской геологии Института Карпинского была проведена интерпретация и классификация покмарков северо-восточной части Копорского залива по повторным профилям мониторинга. В рейсах была проведена съемка методами гидролокации бокового обзора (ГЛБО), непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСАП), подводного фототелепрофилирования, выполнен поверхностный донный пробоотбор и отбор придонной воды. Кроме того, в рамках 56-го рейса НИС «Академик Борис Петров» в Балтийском море было выполнено многолучевое эхолотирование (МЛЭ).

Целью работы является обобщение полученных данных по покмаркам Копорского залива и попытка объяснения их генезиса на основе

конфигурации подводного рельефа, геологического строения и данных о гидрохимических аномалиях поровой воды.

На основе обобщения данных, полученных в ходе текущих исследований и работы предшественников, покмарки Копорского залива можно охарактеризовать как субаквальные концентрические кратерообразные формы, приуроченные к полого-волнистому рельефу неритической зоны шельфа. Эти формы, вероятно, являются результатом выноса поверхностных осадков вследствие разгрузки подземных вод. Рассматриваемое скопление покмарков, площадь которого составляет около 13 км² [4].

За весь период наблюдений на участке северо-восточной части Копорского залива было зафиксировано около 780 покмарков, которые различаются по строению и динамике (при сравнении данных за несколько лет). Диаметр форм варьируется от 2,9 до 20,3 м, при этом средний диаметр составляет 11,3 м. По состоянию на 2023 год, минимальная площадь отдельного покмарка составляет 12,6 м², максимальная – 324,1 м², а средняя площадь – 75,9 м² [4].

Согласно первой, выполненной в 2012 г., классификации покмарков Копорского залива, выделялись молодые формы, а также покмарки двух более ранних генераций. Молодые формы обладают ограниченной внешним отвалом, близким по форме к окружности или овалу с четким «кратером». Посередине депрессии выявляется микроконус [3]. Новая классификация покмарков основана на характере их динамики (рис. 1): «стабильные» (47% от общего числа) – устойчиво выявляемые каждый год, и «пульсирующие» (47%) – эпизодически фиксируемые и исчезающие (заносимые?). У остальных 6% покмарков не представляется возможным отследить динамику, так как они были зафиксированы впервые [4, 5].

В 2024 г. съемка ГЛБО выполнялась в относительно слабо изученной западной части участка мониторинга для оценки реальной площади распространения покмарков. Кроме них (диаметром до 10-12 м), на сонарограммах выявлены также серия пересекающихся гряд неясного генезиса, моренная гряда и, предположительно, обнажение вендских пород или их отторженцев. С подобными обнажениями могут быть связаны не только мелкоамплитудные гравитационные процессы, но и субаквальные выходы подземных вод. Эти гряды также зафиксированы и на записях МЛЭ в западной части полигона (рис.1).

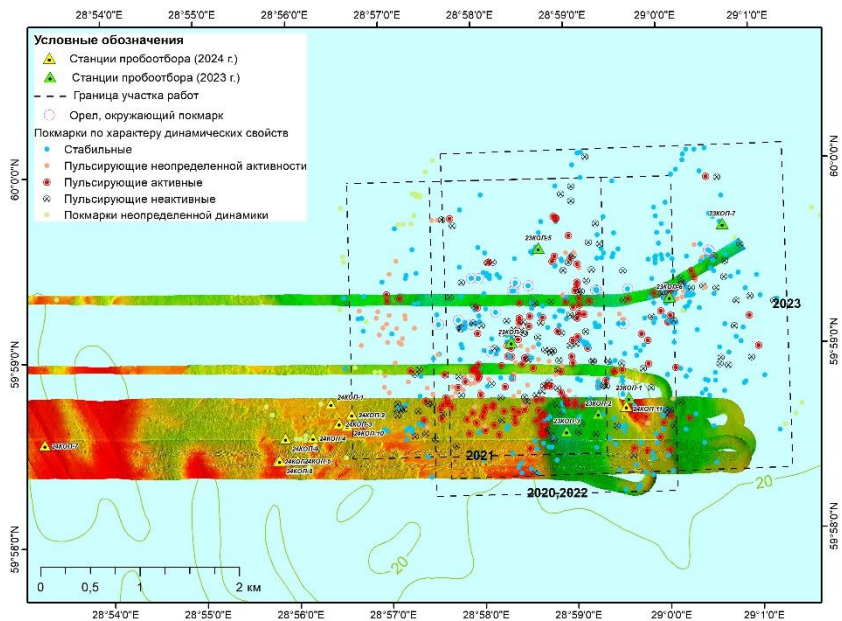


Рис. 1. Скопление покмарков на записях МЛЭ 2024 года в северо-восточной части Копорского залива.

По уже обработанным данным за 2023 г., локальные колебания придонной температуры и pH грунта, единичные железомарганцевые конкреции и корки, а также относительно высокие концентрации в поровых водах В, Ва и Sr, в ряде случаев – Ni, Cu, Zn, U могут свидетельствовать о поступлении в грунт раствора иного, чем морская вода, солевого состава и о наличии пограничной зоны окислительно-восстановительного барьера на границе донные отложения-вода [4, 5]. Вероятным источником поступления U в вендский водоносный комплекс (ВВК) являются подстилающие его кристаллические породы фундамента с повышенными концентрациями U и Th. Обогащение вод ВВК ураном и барием подтверждается литературными данными [1, 2]. Содержание ионов Cl в поровых водах (до 2770 мг/дм³) ближе к такому значению в подземных водах ВВК (2700 мг/дм³), чем фоновому для придонных вод залива (2140 мг/дм³) [6].

Генезис покмарков Копорского залива остается обсуждаемым, однако по имеющимся геолого-геофизическим данным, можно говорить, что разгрузка комплекса подземных вод (ВВК или четвертичного) является преобладающим, объясняющим данное явление фактором. Работы на ключевом участке в Копорском заливе производились за

счет госзадания по объекту «Государственный мониторинг состояния недр по территории Российской Федерации в 2023-2025 годах (прибрежно-шельфовые зоны Белого, Баренцева и Балтийского морей)». МЛЭ и ее интерпретация в 2024 г. выполнены за счёт госзадания ИО РАН (тема №FMWE-2024-0025).

ЛИТЕРАТУРА

1. Грейсер Е. Л. Пресные подземные воды: состояние и перспективы водоснабжения населенных пунктов и промышленных объектов / Грейсер Е. Л., Иванова Н. Г. // Разведка и охрана недр”, № 5, 2005. – С. 36-48.
2. Ерзова, В. А. Воздействие объектов атомной энергетики на радиационное состояние подземных вод на примере Северо-Западного атомно-промышленного комплекса: Ленинградская область / Ерзова В. А. // автореферат дис. ... к.г.-м.н: 1.6.6. – Москва, 2023. – 24 с.
3. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2013 г. // СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014. – С. 57-65, 71-74.
4. Румянцева А. К. Геолого-геоморфологические особенности строения и развития покмарков в северо-восточной части Копорской губы / А. К. Румянцева // Сборник материалов участников международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в рамках XX Большого географического фестиваля, посвящённого празднованию 300-летия Санкт Петербургского государственного университета и Российской академии наук. – Санкт-Петербург: Свое издательство, 2024. – С. 45-49 [Электронное издание].
5. Румянцева А. К. Особенности морфологии, распространения и динамики покмарков в северо-восточной части Копорского залива / Румянцева А. К., Чекулаев А. В., Буданов Л. М. // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2023. Выпуск 10, с. 390-394. doi: 10.24412/2687-1092-2023-10-390-394
6. Румянцев И. А. Разгрузка подземных вод вендского водоносного комплекса в Финском заливе / Румянцев И. А., Шебеста А. А. // Биосфера, 9 (2), 2017. С. 202-203.

**ГИДРОГРАФИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВНЕШНЕЙ
ГРАНИЦЫ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ В АРКТИКЕ**

Бахмутов В.Ю., Гордеева Е.А., Костенич А.В., Ставров К.Г.

*АО «Государственный научно-исследовательский навигационно-
гидрографический институт», г. Санкт-Петербург, Кожевенная
линия, д.41, тел. +7(962)727-18-86, roc@gningi.ru*

**HYDROGRAPHIC FOUNDATION OF THE OUTER LIMITS OF THE
RUSSIAN FEDERATION CONTINENTAL SHELF IN THE ARCTIC
OCEAN**

Vladimir Yu. Bakhmutov, Ekaterina A. Gordeeva, Aleksandr V. Kostenich,
Konstantin G. Stavrov

*Joint Stock Company «The State Research Navigation and Hydrographic
Institute», Saint-Petersburg, Kozhevennaya liniya, 41, +7(962)727-18-86,
roc@gningi.ru*

В статье введено понятие навигационно-гидрографического обеспечения работ по определению и обоснованию ВГКШ Российской Федерации в Северном Ледовитом океане. Гидрографические исследования проводились в 2010-2014 гг., а также в 2019-2020 гг.

The article introduces the concept of navigation and hydrographic support for the work on the definition and foundation of the outer limits of the Russian Federation continental shelf in the Arctic Ocean. Hydrographic studies were conducted in 2010-2014, as well as in 2019-2020.

Ключевые слова: Внешняя граница континентального шельфа, Северный Ледовитый океан, навигационно-гидрографическое обеспечение, цифровая модель.

Key words: Outer limits of continental shelf, Arctic Ocean, navigation and hydrographic support, digital model.

В 2023 году завершен 25-летний основной этап исследований по обоснованию внешней границы континентального шельфа (ВГКШ) России в Северном Ледовитом океане, выполнявшихся совместно научными организациями Минприроды России, Минобороны России, Российской Академии Наук (РАН) и др. Этому этапу предшествовало создание и подписание целого ряда документов.

Началом этапа можно считать утвержденную в 1998 году Министрами Природных Ресурсов и Обороны первую совместную «Программу работ по подготовке географических координат точек, определяющих линии внешних границ континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом и Тихом океанах, и их обоснованию». Окончанием – официальное признание Комиссией по границам континентального шельфа ООН 06 февраля 2023 года предложения Российской Федерации по расширению ВГКШ за пределами 200-мильной зоны в Северном Ледовитом Океане [1].

Открытые Конвенцией ООН по морскому праву (1982 года) [2] возможности по расширению морских границ Российской Федерации за счет континентального шельфа и, соответственно, расширению минерально-сырьевой базы страны, были реализованы целым рядом экспедиций, в том числе под руководством или при участии Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института (ГНИНГИ) с 2010 по 2014 годы и в 2019 и 2020 годах.

Работу по определению и обоснованию ВГКШ за пределами 200-мильной – исключительной экономической зоны можно разделить на два основных блока:

– Обоснование положения континентальной окраины. Эта задача решается на основе геолого-геофизической информации с привлечением геоморфологических построений и относится, в основном, к компетенции специалистов Минприроды, точнее Федерального агентства по недропользованию и РАН.

– Определение и обоснование «координат точек, определяющих линии ВГКШ Российской Федерации, устанавливаемых в соответствии с Конвенцией ООН по морскому праву 1982 года, с указанием основных исходных геодезических данных». Эта задача решается на основе батиметрической и геодезической информации, полученной при навигационно-гидрографическом обеспечении (НГО) работ по определению и обоснованию ВГКШ Российской Федерации в Северном Ледовитом океане. Реализуется специалистами ГНИНГИ (от Минобороны) с частичным привлечением специалистов

(ВНИИОкеангеология и ВСЕГЕИ) для получения и обработки геофизической, в основном сейсмической, информации.

Для определения ВГКШ введены правила и ограничения, в соответствии с которыми её положение основывается на гидрографических данных о рельефе дна (60 миль от ПКС – подножия континентального склона) и геолого-геофизических данных о толщине донных осадочных пород (1% лимит от ПКС) с учетом некоторых ограничений, а именно 100 миль от изобаты 2500 м и 350 миль от исходных линий [3].

В декабре 2001 года Россия стала первым государством, направившим Генеральному Секретарю ООН Заявку «Предложения о перечнях географических координат точек, определяющих линии внешней границы континентального шельфа Российской Федерации», по результатам рассмотрения которой были приняты Рекомендации Комиссии ООН по проведению дополнительных натуральных исследований.

Исходя из этих Рекомендаций, ГНИНГИ по заказу Роснедра разработал Технический проект на выполнение экспедиционных комплексных гидрографических и геофизических работ по определению и обоснованию ВГКШ РФ в СЛО, разделенных во времени и пространстве. В соответствии с Техническим проектом ГНИНГИ совместно со специалистами других научных учреждений провело ряд экспедиций на НЭС «Академик Фёдоров», принадлежащим Институту Арктики и Антарктики, под проводкой атомного ледокола.

Для осуществления этих исследований в 2010 году на верфи в Финляндии по заказу ГНИНГИ было осуществлено дооборудование НЭС «Академик Фёдоров» современным навигационно - гидрографическим комплексом фирмы Kongsberg (Норвегия), а в 2011 году и буксируемым арктическим сейсморазведочным комплексом фирмы ION-GXT (США).

Комплексная обработка полученных гидрографических данных в 2010 – 2014 годах по профилям осуществлялась по технологиям, рекомендованным Комиссией ООН, с использованием, в том числе, программного обеспечения, разработанного специалистами ГНИНГИ. Это позволило не только определить и верифицировать основные параметры ВГКШ, но и создать отечественную цифровую модель рельефа дна Центрального Арктического бассейна – RuBCAO [4]. Материалы этих исследований были включены в документ «Частично пересмотренное представление в отношении расширения континентального шельфа России в Северном Ледовитом океане»,

представленное в Комиссию ООН 03 августа 2015 года. В результате его рассмотрения в Комиссии ООН был сформулирован ряд новых вопросов, касающихся, в основном, разработанной российскими учеными геологической модели строения Северного Ледовитого Океана. В связи с этим в 2019 – 2020 годах ГНИНГИ провело дополнительные экспедиционные исследования.

На основе углубленного анализа материалов всех экспедиций с привлечением дополнительных геолого-геофизических обоснований, выполненных во ВНИИОкеангеология, и оригинальных трехмерных геодинамических моделей Арктического региона, разработанных учеными Института Океанологии РАН для различных геологических эпох, было подготовлено Дополнение к Представлению 2015 года, представленное в Комиссию ООН 31 марта 2021 года. Окончательным результатом рассмотрения Представления РФ стало официальное признание Комиссией 06 февраля 2023 года предложений РФ по ВГКШ за пределами 200-мильной зоны. Таким образом, было подтверждено приращение континентального шельфа в Арктике более чем на 1,7 млн. кв. км, содержащих (по прогнозным оценкам) более 5,0 млрд. тонн условного топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Recommendations of the Commission on the Limits of the Continental Shelf in regard to The Partial Revised Submission Made By The Russian Federation in respect of the Arctic Ocean on 3 August 2015 with addenda submitted on 31 March 2021. Recommendations prepared by the Subcommission established for the consideration of the Submission made by the Russian Federation. Approved by the Subcommission on 20 October 2022. Approved by the Commission, with amendments, on 6 February 2023. – New York, 2023
2. Международная Конвенция по морскому праву 1982 г. [Текст]: Конвенция Организации Объединенных Наций по морскому праву: [подписана 10 декабря 1982 г.: вступ. в действие 16 ноября 1994 г.]. – М.: «Военное издательство», 1985. – 224 с.
3. Научно – техническое Руководство Комиссии по границам континентального шельфа. Пятая сессия. Нью-Йорк, 3–14 мая 1999г. – 90 с.
4. Гордеева Е.А., Костенич А.В., Колобов Е.В., Ставров К.Г. О подходе к созданию цифровой модели рельефа дна Арктического бассейна // Проблемы Арктики и Антарктики. - 2017. - № 1 (111). С. 57 – 61.

ОПЕРАТИВНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 551.46:004.9

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ С МОБИЛЬНО РАЗВЕРТЫВАЕМОГО ПОЛИГОНА

Серикова В. С.¹, Свергун Е. И.², Зимин А. В.^{2,3}

¹*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург*

²*Институт океанологии им. П.П. Ширишова РАН, Москва*

³*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург*

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE PACKAGE FOR PROCESSING AND ANALYZING DATA OBTAINED FROM A MOBILE DEPLOYABLE LANDFILL

Serikova V. S.¹, Svergun E. I.², Zimin A. V.^{2,3}

¹*Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"*

²*Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of
Sciences, Moscow*

³*Saint Petersburg State University, Saint Petersburg*

В статье представлено описание разработки программного комплекса для обработки и анализа данных, получаемых с мобильного развёртываемого полигона для оценки характеристик внутренних волн.

The article describes the development of a software package for processing and analyzing data obtained from a mobile deployable polygon to assess the characteristics of internal waves.

Ключевые слова: мобильно развёртываемый полигон, короткопериодные внутренние волны, автоматизация анализа данных.
Key words: mobile deployable site, short-period internal waves, data analysis automation.

При исследованиях короткопериодных внутренних волн, традиционно применяются стандартные STD-зонды в режиме сканирования или «буйковой» станции [Серебрянный и др., 2023]. При этом при обработке данных используется спектральный анализ. Подобные способы привлекают своей методической простотой, но имеют ряд важных ограничений. Дело в том, что при сканировании скорость зондирования весьма ограничена и не может превышать скорость свободного падения зонда (около 1 м/с). Таким образом, даже при непрекращающемся зондировании возможно регистрация волн только с относительно большими периодами (несколько часов). Соответственно возможен эффект «иллюзии дискретизации», когда энергия не выявляемых короткопериодных колебаний «перебрасывается» в низкочастотную часть спектра.

При установке приборов на отдельных горизонтах в режиме «буйковой» станции при исследовании в «слепую», т.е. когда параметры изучаемых процессов надо не уточнять, а именно выявлять, выбор оптимальных горизонтов установки и дискретности измерений, при ограниченности времени и технических средств, представляет собой задачу со многими неизвестными. В рамках которой можно хорошо решить только оценку периодов внутренних волн.

При изучении же всех характеристик внутренних волн, таких как амплитуда, длина, период, фазовая скорость, направление распространения, становятся необходимыми полигонные измерения. При этом измерительные устройства должны быть расположены не менее чем в трех точках [Centurioni, 2010, Зимин, 2018], что в свою очередь вызывает некоторые неудобства, например, значительные погрешности измерений.

Проведение масштабных по охвату акватории исследований с использованием стационарных полигонов представляется ресурсозатратным. В связи с этим, перспективным является использование мобильно развертываемых полигонов, основанных на группе дрейфующих буйков, устанавливаемых с судна [Свергун Е. И. и др., 2023].

Полигон включает в себя 3 дрейфующих буйка, каждый из которых состоит из корпуса с модулем определения координат по спутниковой связи и термокосу с 18 датчиками температуры, расположенными на различных глубинах от 1 до 65 м. Датчики способны регистрировать температуру в диапазоне от -2 до 35 °С с высокой точностью $\pm 0,05$ °С и постоянной времени не более 15 секунд. Для определения глубины погружения термисторов на конце термокосу установлен датчик давления. Данные с дрейфующих буйков передаются на борт судна в

реальном времени с дискретностью 10 с.

В результате полигонных работ на обработку поступает большой объём данных. Это создает сложности в идентификации цугов внутренних волн, проходящих через каждый буй. В связи с этим актуальной задачей является разработка программного комплекса для автоматизации процессов вычисления и анализа характеристик внутренних волн на основе данных, полученных с дрейфующих буйков.

Разрабатываемый пакет прикладных программ обеспечит предварительную обработку данных, включая фильтрацию шумов и интерполяцию пропущенных значений, обработку временных рядов, вычисление характеристик, а также визуализацию распределения поля температур и векторов направления распространения волн. Признаковое пространство образуют временные метки, координаты каждого буйка, значения температуры и глубины с датчиков.

Для анализа используется алгоритм вейвлет-преобразования, который позволяет оценить локальные особенности сигнала. Для определения задержки между сигналами, полученными с различных буйков, и последующего вычисления направления распространения внутренних волн используется метод кросс-корреляции.

Для реализации программы используется язык программирования Python, который интегрируется со следующими библиотеками: Pandas, NumPy, SciPy для обработки и анализа данных, а также выполнения сложных математических операций, Scikit-learn для применения методов машинного обучения, Matplotlib для визуализации полученных результатов.

Разработка данного программного комплекса будет способствовать оперативной обработке данных, упрощению анализа и повышению точности вычисляемых характеристик внутренних волн.

Работа выполнена в рамках Всероссийской научно-образовательной программы «Плавучий университет» (соглашение №075-03-2024-117) и государственного задания ИО РАН по теме № FMWE-2024-0028

ЛИТЕРАТУРА

1. Серебряный А. Н., Денисов Д. М., Химченко Е. Е. Автономный измеритель внутренних волн на базе измерительных преобразователей температуры для исследований на шельфе //

Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2023. № 2. С. 134–144. EDN SOBKST. doi:10.29039/2413- 5577-2023-2-134-144

2. L. R. Centurioni. Observations of Large-Amplitude Nonlinear Internal Waves from a Drifting Array: Instruments and Methods.
3. Зимин А.В. Субприливные процессы и явления в Белом море. – М: ГЕОС, 2018. – 220 с.
4. Свергун Е. И., Зимин А. В., Лунёв Е. Г., Толстошеев А. П., Безгин А. А. Метод оценки характеристик короткопериодных внутренних волн по данным массива дрейфующих буев // Моря России: от теории к практике океанологических исследований, Севастополь, 25–29 сентября 2023 года. Севастополь: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр "Морской гидрофизический институт РАН", 2023. С. 102–103

УДК 513.0; 53.01

УСЛОВИЯ ДОСТОВЕРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРОСТРАНСТВЕ

Гузеви́ч С.Н.

АО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт», г. Санкт-Петербург, Россия (АО «ГНИНГИ»)

CONDITIONS FOR RELIABLE MEASUREMENTS IN SPACE

.Guzevich S.N.

JSC «State Research Navigation and Hydrographic Institute», St.-Petersburg, Russia

Рассмотрены природные условия выполнения измерений полей на основе сравнения параметров, как условия достоверности. Измерения полей в природе выполняются угловым встречным проецированием в парной параллактической системе координат, которые позволяют одновременное наблюдение двух ортогональных параметров поля.

The paper examines natural conditions for performing field measurements based on parameter comparison as a reliability condition. Field measurements in nature are performed by angular counter projection in a paired parallaxes coordinate system, which allows simultaneous observation of two orthogonal field parameters.

Измерение – основной процесс изучения вещественных и полевых объектов природы, без обеспечения достоверности которых, никакой прогресс в познании природы невозможен. Все объекты на Земле измеряются с помощью полей шаровой формы, которые описываются двумя ортогональными линейными параметрами: радиусом и амплитудой. Эту модель строения материи 2220 лет назад изложил Евклид. Используя концепцию и постулаты Евклида о шаровом строении материи: разделяют материю на поле шаровой формы и заключенных в ней вещественных объектов произвольной формы, которые охватываются по максимальным размерам, и которые описываются раздельно. Получив оценку радиуса поля и положения его центра, оценку размеров вещественного объекта выполняют сравнением с максимальным размером. Модель измерения полей строится на шаровой форме, как у наблюдаемого объекта, так и у его измерителя, которые описываются встречным угловым проецированием.

Чтобы исключить споры о моделях строения полей и их формах, рассмотрим **в общей постановке патентное описание** способа *локационных измерений*. Известен способ локационных измерений, включающий излучатель электромагнитного поля, требуемой длины волны, в направлении наблюдаемого объекта, и совмещенный с ним измеритель амплитуды сигнала отраженного поля, фиксирующий время прохождения сигнала от момента излучения до измерения. Целью заявляемого процесса является измерение двух параметров отраженного сигнала шарового поля: амплитуды и протяженности, заключенной между границами его наблюдений. Способ основан на оценке взаимного положения объектов в пространстве при угловой развертке пространства в парной проективной (параллактической) системе координат. Способ может быть использован для обеспечения достоверных измерений стационарных физических параметров полей и их геометрических размеров по результатам нормирования

линейных и угловых размеров на измерительной базе парной проективной системы. Для этого локационные измерения *выполняют двумя измерителями, разнесенными на базе, которой управляют, фиксируя равенство амплитуд сигналов измерителей, формирующих парный ортогональный угол наблюдения отражающей плоскости шарового поля в проективной системе координат, вдоль оси, соединяющей центр базы измерителя и ограниченном окном шарового поля измерителя d из его центра.* Определяют время движения луча между полями по промежутку сканирования луча по окну шарового поля измерителя d , нормируя базу и полученные проекции полей более высокой частоты. При выполнении этих условий измерения выполняются на основе подобия прямоугольных треугольников, показанных на рис.1А, на которые отсутствует влияние изменений среды. Это классическое использование парного углового проецирования, которое использовалось в электронно-лучевых трубках при совмещении пары: *линейной и круговой развертки.* В данном случае использована парность стационарных физических полей: *магнитного и электрического полей отраженного сигнала* при их проецировании на ортогональных осях. Это является доказательством шаровой формы полей, инерциальной формы их трансляции и роли использования парности для разных параметров стационарных и динамических полей и действий с ними [1-5].

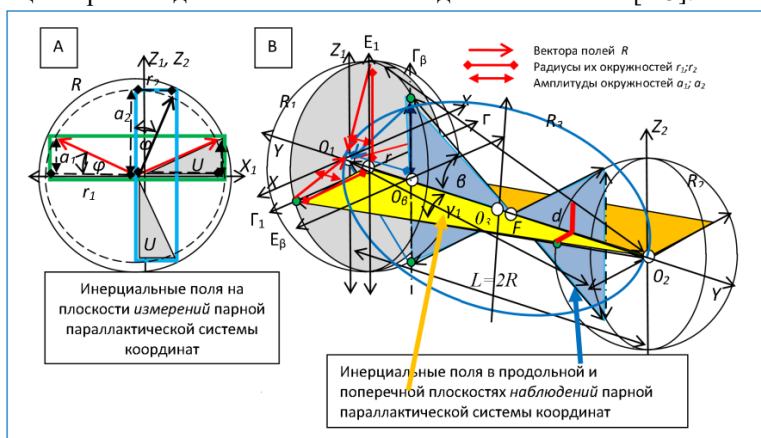


Рис.1. Инерциальные поля – условие сравнения при угловом проецировании.

Процесс взаимодействия полей на расстоянии выполняется между тремя шаровыми объектами R_1 , R_2 , R , обладающими разными размерами и различными физическими свойствами и являются процессами равновесного обмена между инерциальными полями [1,6]. Инерциальные поля формируются параллактическими углами в шаровых сечениях шара в двух ортогональных плоскостях продольной и поперечной относительно центров симметрии O_1 , O_2 , O_3 в каждом поле, показанных на рис.1В Их равновесие обеспечивается относительно центра инерциального равновесия F . Взаимодействие полей объектов создано угловой разверткой векторов инерциальных полей, объединенных в общей парной параллактической системе координат, которая создается одновременно между полями облучаемого объекта и измерителя, так и физическими полями Земли. Это модельное построение, которое еще надо научиться использовать. На плоскости измерений в парной параллактической системе координат обеспечивается возможность простого сравнения проекций любого из двух линейных плоскостных параметров параллактических углов (φ, U) . Обычно параметры на параллельных осях, имеющих разные метрики, нельзя сравнивать, а их отношения по оценке угла φ и их произведения – потенциала U – можно, что показано на рис.1 для двух ортогональных полей. Инерциальные поля обеспечивают основное условие измерений – передачу достоверной информации, которая выполняется на основе сравнения линейных размеров их ортогональных параметров, аксиоматически равных при выполнении условий ортогональности их шаровых поверхностей, что проявляется на управлении взаимодействием между полями (в частности Земли и Солнца) и внутри каждого из полей. Все эти положения в настоящее время в технических средствах не используют. Основное достоинство этой системы координат является ее **ДОСТОВЕРНОСТЬ**, обеспечиваемая непрерывным процессом сравнения. Шаровые поверхности полей «заполняются полем локационного излучения» инерциальных полей, связанных равенством отношений угловых и потенциальных параметров. Центры симметрии O_1 и инерциального равновесия O_G полей лежат на оси Y плоскости измерений и невидимы. Положение центра симметрии O_1 определяются по равенству амплитуд инерциальных полей, а положение центров инерции O_G – по аксиоматическим зависимостям связи геометрического и арифметического среднего размеров прямоугольных треугольников, построенных на радиусах полей объектов [3]. Это позволяет определить положение и ориентационные параметры полей объекта, в шаровой системе координат, связанной с базой измерителей,

используя которые определяют размеры самого объекта по известным зависимостям [2-4]. *Угловое проецирование стационарных и динамических полей показывает роль парности в процессе выполнения измерений, открывая их новые линейные связи через линейные и угловые зависимости.*

ЛИТЕРАТУРА

1. Гузевич С.Н. «Постулаты Евклида и как их понимать» // Навигация и гидрография 2022, №68, с28-44.
2. Гузевич С.Н. «Метрологические аспекты достоверных измерений времени в пространстве» // Навигация и гидрография 2022 №69, с.69-76.
3. Гузевич С.Н. «Время, пространство и их физическая сущность»// Навигация и гидрография 2023, №71, с75-86
4. Гузевич С.Н. «Инерциальные поля и их взаимодействия» // Радионавигация и время 2024, №15
5. Гузевич С.Н. Патент №2655612 В01/06 Стереоскопический способ измерений отстояний и формы объектов. от 26.04.18г., Бюл.№16/18

УДК 551.46.09:504.42.054

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПО ГИДРОАКУСТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ В ОКЕАНОЛОГИИ

Лискин В.А., Руссак Ю.С., Пронин А.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
resty@mail.ru*

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF INFORMATION TRANSMISSION SYSTEM VIA HYDROACOUSTIC CHANNEL IN OCEANOLOGY

Liskin V.A.¹, Russak U.S.¹, Pronin A.A.¹

¹*Institute of Oceanology, P.P. Shirshov RAS,
Nakhimovsky pr., 36, 117997, Moscow, 8(499)124-13-01, resty@mail.ru*

Методы передачи информации в водной среде тесно связаны с характеристиками самого гидроакустического канала. Отметим, что основными особенностями гидроакустического канала связи является наличие нескольких путей распространения звука от передающего модуля к приемному модулю.

Methods of transmitting information in the aquatic environment are closely related to the characteristics of the hydroacoustic channel itself. In almost all cases, the main features of a hydroacoustic communication channel are the presence of several sound propagation paths from the transmitting module to the receiving module.

Ключевые слова: подводные, устройства, методы, исследования.

Key words: underwater, devices, research, methods.

Системы передачи информации по гидроакустическому каналу можно классифицировать по различным признакам: дальности действия, скорости передачи данных, вероятности появления ошибок, потребляемой мощности и т.д. При классификации по скорости передачи данных и вероятности появления ошибок все системы передачи информации условно могут быть разделены на следующие две группы. Системы, используемые для телеуправления и получения информации о состоянии подводных аппаратов и станций, и системы, предназначенные для передачи значительных объемов информации с подводного аппарата (станции) или передачи на подводный аппарат (станцию).

Методы передачи информации по гидроакустическому каналу в водной среде непосредственно связаны с характеристиками самого гидроакустического канала связи. Практически во всех случаях основными особенностями гидроакустического канала связи является наличие нескольких путей (лучей) распространения звука от передающего модуля к приемному модулю связи, а также наличие доплеровского сдвига частоты принимаемого сигнала. При относительно небольших расстояниях наличие дополнительных лучей вызвано, как правило, однократным или многократным отражением звука от дна и поверхности воды. Сигналы, отраженные от дна и поверхности воды, интерферируют с прямым лучом и друг с другом. Поскольку копии сигнала, распространяющиеся по нескольким путям (лучам), имеют различные задержки, интерференция в точке приема

приводит к искажению формы сигнала, что в свою очередь уменьшает отношение сигнал/шум. Поэтому пропускная способность системы связи и вероятность ошибки ограничиваются интенсивностью, задержками и скоростью изменения задержек дополнительных лучей в точке приема.

Использование антенны с фиксированной диаграммой направленности позволяет создать простую по конструкции, но весьма неудобную в эксплуатации систему гидроакустической связи. Использование антенны с перестраиваемой (адаптивной) диаграммой направленности в ряде случаев может оказаться весьма эффективным средством борьбы с много-лучевостью, однако, при малой разнице в углах прихода различных лучей, приемная гидроакустическая антенна должна иметь значительные габариты, а адаптивный синтез диаграммы направленности требует значительного объема вычислений. Как можно понять из сделанного краткого обзора, а также многочисленной литературы, посвященной методам передачи данных по многолучевым каналам, цифровая гидроакустическая связь подводного аппарата, как правило, состоит из двух подсистем: телеуправления и передачи данных.

Подсистема телеуправления характеризуется малым энергопотреблением, имеет сравнительно небольшую производительность и сохраняет работоспособность в широком диапазоне изменений характеристик гидроакустического канала. Подсистема передачи данных, функционирует со значительно большей производительностью, однако, обладает повышенной чувствительностью к характеристикам гидроакустического канала [1,2].

Передача цифровой информации используется в радиосвязи уже много лет и в последнее время широко вошла в наш быт (например, в сотовых телефонах). Однако, в гидроакустике, она стала применяться лишь в последние годы. Это связано с особенностями распространения звука в океане, скорость которой на несколько порядков ниже скорости электромагнитных волн. Два фактора особенно важны в этой связи: во-первых, - это многолучевое распространение звука в толще воды по различным путям и вследствие многократных донно-поверхностных отражений. В результате, основной помехой в этом случае является не аддитивный шум, а реверберация звука, связанная с самим сигналом. Поэтому увеличение мощности сигнала приводит к пропорциональному увеличению помехи и не улучшает отношение сигнал/шум. Для радио и телефонной связи этот фактор также имеет место, в частности, как

результат многократных отражений, однако, затягивание сигнала за счет реверберации здесь невелико. Это затягивание измеряется в величинах количества интервалов временной корреляции огибающей сигнала и составляет единицы, в то время как для гидроакустики затягивание сигнала составляет десятки и сотни интервалов.

В результате проведенного анализа различных методов передачи данных по гидроакустическому каналу связи, появилась возможность создания сверх-малопотребляющей и в то же время весьма помехоустойчивой системы гидроакустической связи, предназначенной для передачи команд и получения сжатой телеметрической информации даже в условиях быстрых замираний. Для компенсации быстрых замираний принимаемого сигнала используется комбинация введения избыточности в передаваемый сигнал и его некогерентного приема. Несмотря на то, что подобная система не использует энергии всех лучей в точке приема и обладает относительно невысокой пропускной способностью, она способна обеспечивать весьма практически в любых условиях многолучевого распространения при использовании относительно несложного алгоритма приема. Простота алгоритма приема информации в сочетании с современными сверх-малопотребляющими цифровыми и аналоговыми компонентами, приводит к существенному снижению энергопотребления гидроакустического приемника.

Одним из возможных применений создаваемой системы гидроакустической связи является ее использование для дистанционного управления режимами работы и получения информации о состоянии, например, автономной донной станции. Разработанная гидроакустическая связь смонтирована в комплексе с усовершенствованным блоком управления в унифицированном сменном модуле донной станции. Была также разработана усовершенствованная судовая часть системы гидроакустической связи. Разработан и создан новый вариант приемно-излучающей гидроакустической антенны: обновлены схемы излучателя, работающие в требуемом диапазоне частот, обновлены, также, гидрофоны, гидрофонные предусилители, изменена компоновка антенны. Выполнена унификация программного обеспечения и электронного оборудования. В качестве судового блока гидроакустической связи оказалось возможным использовать блок, идентичный блоку гидроакустической связи автономной донной станции. Испытания подсистемы гидроакустической связи показали, что предлагаемый вариант подсистемы надежно обеспечивает обмен цифровой информацией с автономными подводными аппаратами на

значительных расстояниях в условиях многолучевого распространения звука при чрезвычайно низком (2-8 мВт в зависимости от напряжения источника питания) энергопотреблении приемной части системы [3,4].

«Работа выполнена в рамках Государственного задания ИО РАН по теме № FMWE-2024-24»

ЛИТЕРАТУРА

1. Шрейдер Ал.А., Шрейдер А.А., Клюев М.С., Евсенко Е.И. Высокоразрешающая геоакустическая система для геолого-археологического изучения дна // Процессы в Геосредах - 2016. - № 2.- С.156–161.
2. Греков А.Н., Греков Н.А., Сычев Е.Н. Профилографы скорости звука и алгоритм определения плотности воды для океанографического диапазона // Системы контроля окружающей среды / Севастополь: ИПТС. - 2017. - Выпуск 8 (28). - С.11–15.
3. Губин Н.А., Ченский Д.А., Ченский А.Г. Лабораторный стенд для калибровки измерителей скорости звука // В сборнике: Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2015) Материалы XIV Международной научно-технической конференции. 2015. Т.1. С. 120-123.
4. Колосов К.В. Комбинированные гидроакустические приборы подводных аппаратов // Материалы XIII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2013» – Т.1 «Современные методы и средства океанологических исследований» / Москва. - 2013.- С. 369-372.

УДК 551.46.086

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ВОЛНОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ БУЕВ НА ЛЕГКОДОСТУПНОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ

Юровский Ю.Ю., Кудинов О.Б.

*Морской гидрофизический институт РАН,
299011, Севастополь, ул. Капитанская, 2, (8692)54-52-41,
y.yurovsky@mhi-ras.ru*

THE EXPERIENCE OF DESIGNING WAVE BUOYS USING COST-EFFECTIVE HARDWARE

Yurovsky Yu.Yu., Kudinov O.B.

Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences,
2, Kapitanskaya Str., Sevastopol, 299011, Russia

В работе представлен опыт разработки волноизмерительных буйев на основе легкодоступных микроэлектромеханических инерциальных датчиков. Обсуждаются результаты натурных испытаний нескольких прототипов буйев разного размера и назначения.

The paper presents experience in the designing wave buoys based on cost-effective microelectromechanical inertial sensors. Several buoy prototypes of different size and purposes are tested in field experiments.

Ключевые слова: буй, волнограф, волны, натурные измерения
Key words: wave buoy, wave gauge, surface waves, field measurements

Измерение параметров поверхностных волн путем анализа движений буйев является обычной океанографической задачей уже многие десятилетия [1]. В мире развита целая индустрия по производству волноизмерительных буйев, использующихся для рутинного мониторинга волнения в океане. Несмотря на это в последние годы в литературе все чаще встречается описание буйев, разрабатываемых небольшими научными коллективами, см., например, [2,3]. Преимуществом такого подхода является возможность создания прибора под конкретные научные цели и задачи. Такие разработки стали возможны в том числе благодаря широкому распространению микроэлектромеханических инерциальных датчиков, использующихся в самых разных отраслях промышленности. В настоящей работе мы делимся опытом разработки волноизмерительных буйев на основе таких датчиков.

На сегодняшний день производители, в том числе российские, предлагают довольно широкий ассортимент инерциальных датчиков, стоимость которых может отличаться на порядки в зависимости от точности измеряемых параметров. Заявленная погрешность заводских калибровок самых простых моделей обычно не хуже 2-3% в каналах акселерометра, чего обычно более чем достаточно для измерения волн. Уровень шума инерциальных датчиков во многом определяет их стоимость, однако, как продемонстрировано в [4], основным источником шума является само движение корпуса и нелинейность морской поверхности, но не собственный шум датчиков. Поэтому в

данной работе задействованы одни из самых простых и доступных инерциальных модулей (MPU9250, BNO055) с целью показать какое качество измерений волн можно ожидать при их использовании.

Собрано несколько прототипов волноизмерительных буюв трех видов (рис.1*a-d*), отличающихся прежде всего размером и емкостью аккумулятора для разных сценариев применения. Самый крупный корпус имеет плавучесть диаметром 40 см и емкость аккумулятора 12000 мАч, что позволяет вести непрерывные измерения в течение приблизительно одного месяца (объем герметичной части корпуса позволяет увеличить емкость и срок постановки в 2-3 раза). В методических целях используется два сонаправленных датчика MPU9250 и BNO055. Корпус среднего размера с плавучестью диаметром 15 см имеет один датчик MPU9250 и аккумулятор 300 мАч, которого хватает на 16 ч работы, что удобно для измерений с судна. Самый малый корпус диаметром 4.5 см имеет минимальную емкость аккумулятора (150 мАч, 8 ч) и упрощенную схему. Такая радикальная миниатюризация позволяет увеличить чувствительность к более коротким волнам, что открывает возможности для их изучения. Буй действует по принципу логгера, т.е. собирают с датчика всю исходную информацию с максимально возможной частотой дискретизации. В таком виде исследователь имеет максимум возможностей при дальнейшей обработке данных. Натурные испытания буюв проведены вблизи Стационарной океанографической платформы Черноморского гидрофизического подспутникового полигона МГИ РАН.

В качестве референтного измерителя волн использовалась антенная решетка из 6 резистивных струнных волнографов, установленная на платформе. В течение месяца проводились эпизодические наблюдения буюми малого и среднего размеров, в том числе в течение недели велись непрерывные измерения двумя образцами 40-см буюв, поставленными на якорь на расстоянии 150-200 м от платформы. В экспериментах не обнаружено существенной разницы между измерениями датчиками двух разных моделей (рис.1*e*). Спектры возвышений, восстановленные по инерциальным измерениям, как правило, совпадают в пределах доверительных интервалов (рис.1*f*). Среднеквадратичная ошибка оценки высоты значительных волн относительно референтных наблюдений составила не более 6 см в диапазоне 0.2-1 м при наблюдаемых скоростях ветра 0-15 м/с (рис.1*g*). Такая погрешность вполне соответствует статистическому разбросу этой величины, который обычно составляет 10-15% [1].

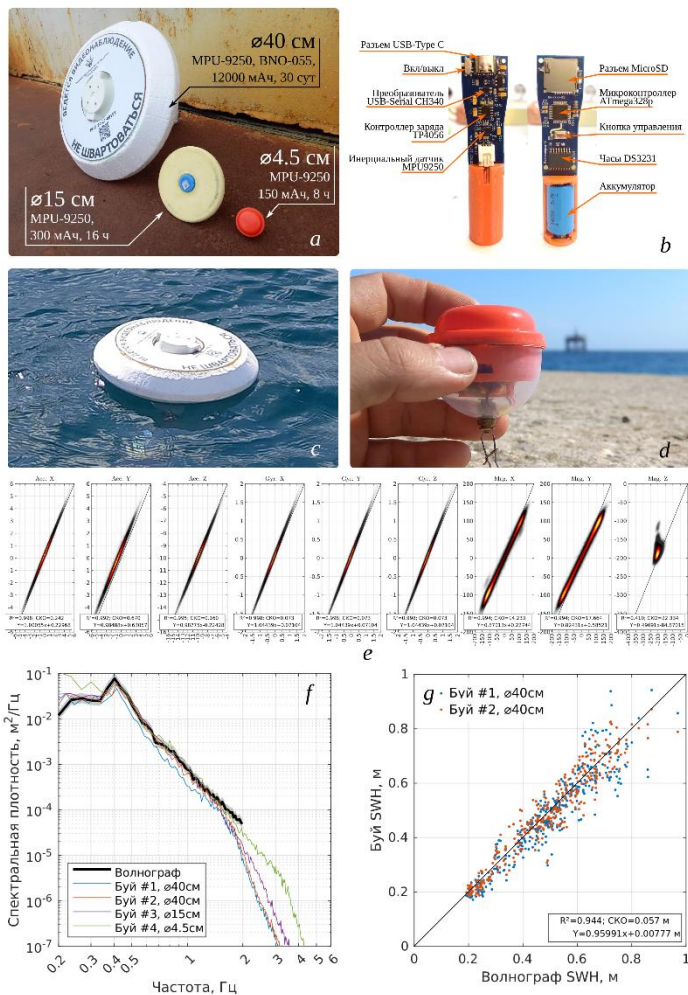


Рис. 1. (a) – Три вида прототипов волноизмерительных буйев разного размера, (b) – печатная плата электронного модуля, (c) – буй диаметром 40 см на воде, (d) – буй диаметром 4.5 см на фоне Стационарной океанографической платформы МГИ РАН, (e) – диаграммы рассеяния измерений датчиками MPU9250 и BNO055, (f) – спектры при развивающемся волнении (скорость ветра 8 м/с), (g) – диаграммы рассеяния высот волн за неделю измерений по измерениям двух 40-см буйев.

Таким образом, использование легкодоступных инерциальных датчиков, представляется оправданным для измерений волн, поскольку открывает перспективы создания флотов простых однотипных измерителей для проведения целенаправленных натуральных экспериментов по исследованию поверхностных волн на протяженных разрезах или сетках.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда 24-27-00153.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Earle M.D. et al. Nondirectional and directional wave data analysis procedures: NDBC technical document 96-01. Stennis Space Center, 1996. – P. 43.
2. Rabault J. et al. OpenMetBuoy-v2021: An Easy-to-Build, Affordable, Customizable, Open-Source Instrument for Oceanographic Measurements of Drift and Waves in Sea Ice and the Open Ocean // Geosciences. – 2022. – Vol. 12, № 3. – P. 110.
3. Feddersen F. et al. The wavedrifter: a low-cost IMU-based Lagrangian drifter to observe steepening and overturning of surface gravity waves and the transition to turbulence // Coast. Eng. J. – 2024. – Vol. 66, № 1. – P. 44–57.
4. Yurovsky Yu.Yu., Dulov V.A. MEMS-based wave buoy: Towards short wind-wave sensing // Ocean Eng. – 2020. – Vol. 217. – P. 108043.

УДК 534.23

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОСВЕЩЕНИЯ ПОДВОДНОЙ ОБСТАНОВКИ

Злобина Н.В., Касаткин С.Б.

*Институт проблем морских технологий им. академика Агеева М.Д.,
ДВО РАН, г. Владивосток, ул. Суханова 5а, 690091
E-mail kasatkas@marine.febras.ru, bigezar@mail.ru*

RESULTS OF PRIMARY AND SECONDARY SPECTRAL ANALYSIS IN THE PROBLEM OF UNDERWATER ENVIRONMENT LIGHTING

*Nadezhda Zlobina, Sergey Kasatkin
Institute of Marine Technology Problems FEB RAS, Vladivostok, Russian
Federation, Suhanov street 5a, 690091*

Ключевые слова: скалярно-векторное описание звукового поля, комбинированный приемник, мелкое море, вихревая составляющая вектора интенсивности, помехоустойчивость, инфразвук

Key words: scalar-vector description of the sound field, combined receiver, shallow sea, vortex component of the intensity vector, noise immunity, infrasound

На основе экспериментальных данных, полученных в мелком море с помощью вертикально ориентированной трёхэлементной приёмной антенны, состоящей из комбинированных приёмников, анализируется звуковое поле в инфразвуковом диапазоне частот. Звуковое поле формировалось дискретными составляющими вальнолопастного звукоряда шумового объекта в диапазоне частот 2-14 Гц. Первичный спектральный анализ позволяет определить отдельные дискреты, поддерживать контакт с источником шума в присутствии широкополосной помехи с помощью динамической селекции 16 энергетических параметров, а также повысить помехоустойчивость приёмной системы. Мелкомасштабная вихревая составляющая вектора интенсивности становится доминирующей в суммарном звуковом поле на низких частотах, модулируя потенциальную составляющую вектора интенсивности. Анализируется возможность выделения модуляционной составляющей методами вторичного спектрального анализа с целью повышения помехоустойчивости приёмной системы на основе комбинированных приёмников.

УДК 551.46.09:504.42.054

РАЗРАБОТКА И АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ТЕЧЕНИЙ

Лискин В.А., Тихонова Н.Ф., Русак Ю.С.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
resty@mail.ru*

DEVELOPMENT AND HARDWARE IMPLEMENTATION OF AN ACOUSTIC METER OF CURRENT SPEED AND DIRECTION

Liskin V.A.¹, Tichonova N.F.¹, Russak U.S.¹

*Institute of Oceanology, P.P. Shirshov RAS,
Nakhimovsky pr., 36, 117997, Moscow, 8(499)124-13-01,
resty@mail.ru,*

Из акустических методов измерения скорости потока можно выделить два типа: основанные на эффекте Доплера и измерении времени распространения звука на известной базе, между излучателем и приемником, которое зависит, в свою очередь, от скорости движения водных масс.

Of the acoustic methods for measuring flow speed, two types can be distinguished: those based on the Doppler effect and measuring the time of sound propagation at a known base, between the emitter and the receiver, which, in turn, depends on the speed of movement of water masses.

Ключевые слова: акустические, методы, скорость, потока.

Key words: acoustic, methods, speed, flow.

Среди методов измерений скорости потока отметим гидродинамические преобразователи скорости течения, в качестве которых широкое распространение получили: роторы «Савониуса», винты Архимеда, импеллеры и т.д. Их распространенность обусловлена простой и технологичной конструкцией, линейной зависимостью между скоростью потока и угловой частотой вращения в рабочем диапазоне скоростей. К недостаткам этих преобразователей скорости течения можно отнести высокую нелинейность при малых скоростях потока, наличие вращающихся частей и достаточно большая инерционность.

Из акустических методов измерения скорости потока можно выделить два типа: основанные на эффекте Доплера и измерении времени распространения звука на известной базе. Метод основанный на эффекте Доплера заключается в том, что если излучить в наклонном направлении к движущемуся слою воды, содержащему взвешенные частицы, акустические колебания и затем принять рассеянные водным слоем сигналы, то частота принятых колебаний будет отличаться от частоты излученных колебаний на величину,

зависящую от скорости потока. Преимущество этого способа состоит в том, что с помощью одного прибора можно измерять скорость потока по толщине некоторого столба воды. К недостаткам можно отнести сложность приемо-передающей части, обязательное наличие взвешенных частиц, а также этот способ измерения потока может иметь большую погрешность, связанную с изменением скорости звука.

Из приведенных выше акустических методов измерения потока в настоящее время широко используются Доплеровский и фазовый. Измерители потока, основанные на эффекте Доплера, выпускаются многими фирмами, но в состав этих измерителей входит сложная приемо-передающая акустическая система. Для повышения чувствительности к мелким взвешенным частицам используют частоты порядка 1 МГц, что приводит к значительным мощностям на излучение для работы в достаточно большом диапазоне расстояний. Фазовые измерители скорости потока имеют значительно более простые приемо-передающие узлы и так же широко выпускаются, но мощность излучения значительно ниже по сравнению с Доплеровскими измерителями. При выборе метода измерения потока, в основном, внимание уделялось простоте конструкции датчика и низкому энергопотреблению, что важно в случае использования датчика скорости потока в составе автономной станции. Эти датчики могут применяться при любом способе, основанном на измерении времени распространения. Достаточно простая конструкция электронной части получается при фазовом методе, так как в этом случае нет необходимости компенсировать паразитную амплитудную модуляцию, а фазо-частотные характеристики приемо-передающего тракта могут быть калиброваны на фиксированных частотах [1,2].

Основным элементом ультразвуковой системы измерительного модуля скорости и направления течения являются пьезо-электрические (пьезокерамические) датчики. Датчики изготавливаются на основе пьезо-элементов в виде тонких пластин пьезо-керамики с продольной поляризацией. В ходе первоочередных работ по созданию ультразвукового измерителя скорости потока были проведены испытания макетов датчиков на предмет исследования их чувствительности. При проведении лабораторных испытаний главной задачей было отработка технологий герметизации пьезо-датчиков, как и выбор образцов пьезо-датчиков.

Был выполнен подбор высокочастотных пьезо-датчиков с резонансными частотами от 350 кГц до 800 кГц. Все протестированные датчики позволяли работать в требуемом

частотном диапазоне более одной декады. Для герметизации пьезоэлементов применялись силиконовые герметики. Лучшие результаты показали датчики, где пьезо-керамика жёстко прикреплялась на подложку по всей плоскости. Амплитуда напряжения на излучателе была постоянной и составляла 7 В. Для проведения измерений был разработан предусилитель на дискретных элементах, так как на таких частотах интегральные усилители имели большой потребляемый ток: около 10 мА, тогда как разработанный усилитель потреблял 2.7 Ма.

Из акустических методов измерения скорости потока можно выделить два типа: а) основанные на эффекте Доплера и б) измерения времени распространения звука на известной базе. Метод измерения скорости потока по времени распространения звука вдоль известной базы, основан на использовании зависимости времени распространения ультразвука между излучателем и приемником, от скорости движения водных масс на его пути. Для однозначного определения направления течения в состав измерительного блока должен входить компас и акселерометр. Необходимый диапазон измерения времени распространения определяется в основном изменением скорости звука в воде, который составляет в среднем от 1400 до 1600 м/с или приблизительно 1500 м/с +/- 7%. Отметим, из приведенных выше акустических методов измерения потока в настоящее время широко используются доплеровский и фазовый. Важнейшим элементом ультразвуковой системы измерительного модуля скорости и направления течения являются пьезо-электрические (пьезокерамические) датчики. Датчики изготавливаются на основе пьезо-элементов в виде тонких пластин пьезо-керамики с продольной поляризацией. В ходе первоочередных работ по созданию ультразвукового измерителя скорости потока были проведены испытания макетов датчиков на предмет исследования их чувствительности. Основные погрешности измерения скорости потока и скорости звука связаны с ошибками в измерении времени распространения и ошибками изменения базы от температуры.

Для однозначного определения направления течения в состав измерительного блока должен входить компас и акселерометр. В настоящее время наиболее подходящим для данной задачи является модуль (например, HMR3300 фирмы HONEYWELL), который позволяет измерять направление с точностью не хуже 1 градуса. В состав данного модуля, так же, входит акселерометр с диапазоном +/- 60 градусов и точностью 1 градус. Кроме того, возможно применения набора (микросхем НМС1055 той же фирмы), что позволит сократить размеры модуля и энергопотребление. Для повышения точности

измерения потока в состав прибора целесообразно ввести датчик температуры для компенсации температурных погрешностей, связанных с изменениями базы от температуры [3,4].

«Работа выполнена в рамках Государственного задания ИО РАН по теме № FMWE-2024-24»

ЛИТЕРАТУРА

1. Клювиткин А.Н. Энергетический спектр скорости течения в глубокой части Черного моря / Островский А. Г., Лисицын А. П., Коновалов С. К. // Доклады Академии наук. 2019. Т.488. № 5. С.103-107.
2. Губин Н.А., Ченский Д.А., Ченский А.Г. Лабораторный стенд для калибровки измерителей скорости звука / В сборнике: Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2015) // Материалы XIV Международной научно-технической конференции. - 2015. - Т.1. - С. 120-123.
3. Паршуков В.Н. Средства гидроакустического и гидрологического обеспечения / Подводные технологии и средства освоения Мирового океана. // М.: Издательский дом «Оружие и технологии». - 2011. - С.337-347.
4. Римский-Корсаков Н.А., Флинт М.В., Поярков С.Г., Анисимов И.М., Белевитнев Я.И., Пронин А.А., Тронза С.Н. Развитие технологии комплексных инструментальных подводных наблюдений применительно к экосистемам Российской Арктики // Океанология. - 2019. - Т.59. - №4. -С. 679-683. - DOI: 10.1134/S0001437019040143

УДК 551.508

РАЗРАБОТКА И НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ МАКЕТА АВТОНОМНОЙ МЕТЕОСТАНЦИИ

Глитко О.В., Свергун Е.И., Глухов В.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
glitko_kisin@mail.ru*

DESIGN AND VALIDATION OF A PROTOTYPE FOR AN AUTONOMOUS METEOROLOGICAL STATION

Glitko O.V., Svergun E.I., Glukhov V.A.

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

В статье приведены результаты разработки и первых натурных испытаний универсального автономного прибора регистрации метеопараметров. Прибор позволяет измерять температуру, влажность воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра, а также оборудован собственной системой ГНСС.

The results of the development and first field measurements of a universal autonomous device for the registration of meteorological parameters are presented. This device is capable of measuring temperature, air humidity, atmospheric pressure, wind speed and direction, and is also equipped with its own GPS system.

В настоящее время активно развивается направление разработки различных автономных буйев и приборов, предназначенных для продолжительного мониторинга состояния морской среды – характеристик приповерхностного слоя морской атмосферы и приповерхностного слоя морской воды. Важным является наблюдение метеопараметров – температуры приповерхностного слоя атмосферы, скорости и направления ветра, атмосферного давления [1]. Интерес представляет разработка универсального автономного прибора регистрации метеопараметров на основе современных электронных модулей с возможностью установки на различный носитель – как на судно, так и на дрейфующий или заякоренный буй. При этом возникает необходимость учета качки и движений носителя, для чего метеостанция должна быть оснащена приемником ГНСС и инерциальной измерительной системой. Установка подобной автономной метеостанции на дрейфующие буи, оборудованные термокосами, позволила бы надежно зафиксировать влияние внутренних волн на метеопараметры приповерхностного слоя атмосферы. Цель данной работы – описать разработанный макет автономной метеостанции и результаты её первых натурных испытаний.

Макет автономной метеостанции был разработан в 2024 г. в Санкт-Петербургском филиале Института океанологии им.

П.П. Ширшова РАН. Схема составных частей метеостанции и интерфейсов взаимодействия показана на рисунке 1. Наименования датчиков в составе макета и их основные характеристики приведены в таблице 1.

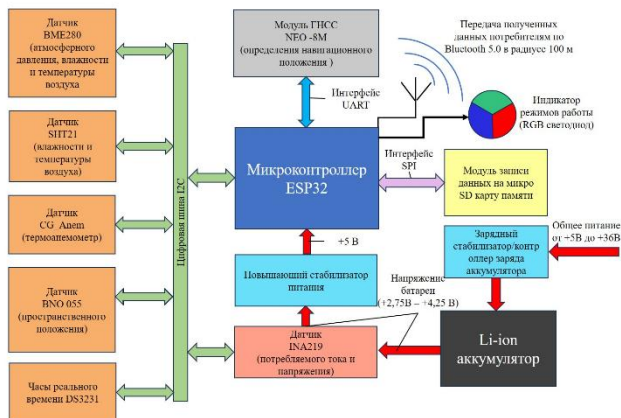


Рис. 1. Схема составных частей макета метеостанции

Таблица 1. Состав датчиков макета автономной метеостанции

Датчик	Параметр	Заявленная точность измерений	Диапазон
SHT-21	Температура	0,1°C	-40 – +125 °C
	Влажность воздуха	1 %	0 – 100 %
BME 280	Температура	0,01°C	-40 – +85 °C
	Давление	0,01 кПа	30 – 110 кПа
	Влажность воздуха	3%	0 – 100 %
Термоанемометр CG Aneq	Скорость воздушного потока	0,1 м/с	0,1 – 25,0 м/с
	Температура	0,1°C	-20 – +100 °C
BNO 055 (с расчетом углов Эйлера)	Ускорение (3 оси)	0,2 м/с ²	0 – 2g
	Ускорение вращения (3 оси)	0,015°/с	±125°/с
	Магнитометр (ось x, y)	0,3 мкТл	±1300 мкТл
	Магнитометр (ось z)		± 2500 мкТл
Модуль навигационного положения NEO-8M (ГЛОНАСС, GPS, Beidou)	Широта, долгота	не более 2 м	-
	Скорость	0,05 м/с	0 – 500 м/с
	Высота	2,5 м	0 – 50 км

Данные со всех цифровых датчиков собираются микроконтроллером ESP-32, а затем записываются с заданной частотой (устанавливается вручную, не более 1 Гц) на флеш-накопитель, а также могут передаваться по протоколу Bluetooth. В устройство встроены часы реального времени, корректируемые по данным ГНСС. Все электронные модули находятся в герметичном боксе, из которого выступает датчик термоанемометра. Для ориентации устройства по направлению ветра используется специальное крепление с подшипниками и флюгером. На рисунке 2 приведен вид макета метеостанции.

Натурные испытания макета метеостанции производились в рамках экспедиции Плавучего университета на НИС «Профессор Молчанов» в морях Карском и Лаптевых. Метеостанция была установлена на пеленгаторной палубе на высоте около 2 метров от поверхности палубы для устранения влияния эффектов обтекания корпуса судна на показания датчика скорости ветра.

В общей сложности было выполнено 6 эпизодов измерений продолжительностью от 6 до 30 часов. Испытания производились как в спокойную солнечную погоду, так и в штормовую погоду при существенной качке и наличии дождя и снега. В ходе испытаний была установлена уверенная работоспособность всех датчиков метеостанции. Продолжительность работы от аккумулятора при дискретности опроса датчиков 1 Гц составила 30 ч. Данные встроенного приемника ГНСС хорошо согласуются с данными навигационной системы судна. Порядок величины и тенденция изменчивости основных метеопараметров удовлетворительно совпадают с данными судовых метеонаблюдений.

Проведенные натурные испытания метеостанции продемонстрировали её работоспособность и позволили выявить ряд недостатков. Среди них стоит отметить рыскание метеостанции при сильном ветре (более 15 м/с) и низкая чувствительность к слабому ветру (менее 2 м/с). Для устранения данных недостатков требуется переработка корпуса метеостанции и ее крепления на мачту. В дальнейшем необходима разработка специализированного программного обеспечения для обработки данных метеонаблюдений с учетом движения и качки носителя, а также отображения результатов измерений.



Рис. 2. Общий вид макета метеостанции

Разработка прибора и обработка результатов испытаний выполнена в рамках гос. задания ИО РАН FMWE-2024-0028, натурные испытания прибора выполнены в рамках Всероссийской научно-образовательной программы «Плавучий университет» (соглашение № 075-03-2024-117)

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Руководящий документ РД.52.04.666–2005 «Наставления гидрометеорологическим станциями и постам». Вып. 10, ч. 2. СПб: Гидрометеоиздат.

УДК 504.556

АППАРАТЫ - ПЛАНЕРЫ В ЗАДАЧАХ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ, ОРИЕНТИРОВАННОЙ НА ПОДДЕРЖКУ ПОДВОДНОГО НАБЛЮДЕНИЯ

Коваленко В.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,
Нахимовский пр., 36, 8(499)124-75-96, hydrophys@mail.ru*

GLIDER VEHICLES IN THE TASKS OF OPERATIONAL OCEANOGRAPHY FOCUSED ON SUPPORTING UNDERWATER SURVEILLANCE

Kovalenko V.V.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia*

Рассмотрены функции аппаратов-планеров при получении океанологической информации, требующейся в задачах подводного наблюдения. Показано, что применение глайдеров целесообразно в областях повышенной неопределенности для выборки натуральных данных, усваиваемых моделями.

The functions of glider in obtaining oceanological information of the quality required in underwater surveillance tasks are considered. It is shown that the use of gliders is advisable in areas of increased uncertainty for sampling field data assimilated by operational oceanography models.

Связь задачи акустического подводного наблюдения (ПН) с оценками состояния океанической среды рассматривалась нами в [1]. Результатом этой работы были представления об объединении инструментария оперативной океанографии, направленного на получение текущих и прогнозных оценок состояния среды, и акустического ПН в виде сквозной технологии. В рамках такой технологии свойства изменчивой по пространству и во времени среды определяют структуру акустических полей в пространстве и во времени и влияют на выходные показатели систем подводного наблюдения. Рассмотрению путей, улучшения показателей подводного наблюдения за счет применения, в том числе, более представительной выборки натуральных данных об океанической среде посвящена работа [2]. Указанные проработки являются составными частями общей проблемы эффективного подводного наблюдения, решаемой путем введения в процесс улучшения оценок состояния среды измерительной техники, размещаемой на аппаратах-планерах. Содержание настоящей работы дополняет [1] и [2]. В данной работе объединены представления [1] и [2] и обсуждаются вопросы улучшения оценок среды в интересах акустического ПН путем применения размещаемой на аппаратах-планерах сенсорной нагрузки.

Понимание значимости влияния изменчивости океанической среды на достижимое качество ПН является стартовой позицией для

последующих рассуждений в поставленной задаче. На заимствованном из [3] рисунке 1 представлен качественный график зависимости такой значимости от масштаба пространственной изменчивости состояния среды в метрах. Из этого графика следует, что предпочтительное для гидроакустики разрешение находится в пределах от 1 до 100 метров. Причем, 100-метровое разрешение может считаться достигнутым результатом. Видно, что такой показатель находится на стыке достижимого путем детерминированного моделирования и стохастических представлений в отношении меньших масштабов.

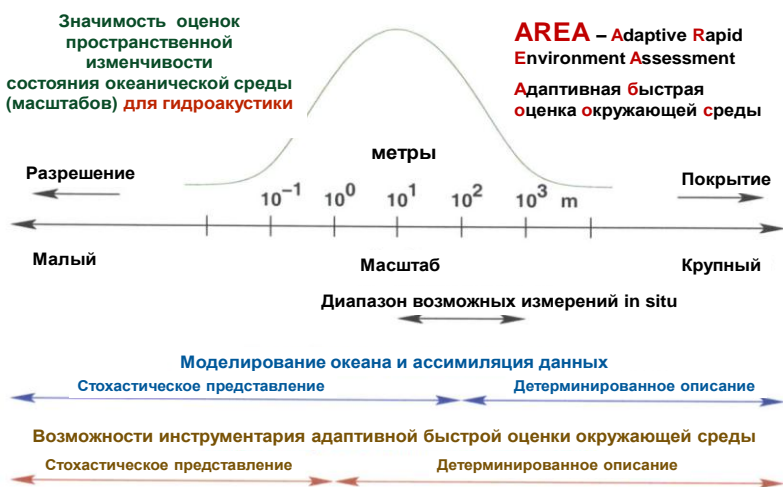


Рис. 1 Значимость влияния изменчивости характеристик океанической среды на потенциально достижимое качество гидроакустического наблюдения и возможности улучшения пространственного разрешения инструментария оперативной океанографии путем оптимизации выборки натуральных данных [3].

Из [1] и [2] мы знаем, что способы улучшения разрешения в системах оперативной океанографии связаны с анализом каскада неопределенностей в цепи «океанология – акустическое поле – наблюдатель» и имеют два крупных направления. Это: 1) уменьшение неопределенностей путем улучшения физических моделей и моделирования и 2) уменьшение неопределенностей путем улучшения качества выборки натуральных данных. И первое, и второе направление

ориентируются на все элементы каскада неопределенностей. К мерам по уменьшению неопределенности оценок состояния океанической среды относят: 1) улучшение качества моделей путем максимально возможного учета действующих физических факторов; 2) улучшение качества моделей взаимодействия океана и атмосферы; 3) улучшение описания морского дна, его рельефа и морфологических свойств. А также: 4) применение адекватного измерительного инструмента; 5) применение адаптивной выборки натуральных данных совместно с технологией прицельных измерений; 6) применение адекватных процедур подгонки модельных и измеренных данных (ассимиляции). Среди указанных мер в данной работе мы выделяем технологию улучшения выборки натуральных данных. В работе [3] можно найти ссылку на такую технологию, названную «Адаптивная быстрая оценка окружающей среды (AREA)» (см. также рисунок 1). Отсюда следует, что применение указанной технологии позволяет существенно улучшить пространственное разрешение системы и вплотную приблизиться к нижнему пределу, удовлетворяющему требованиям гидроакустики.

Важно особо отметить необходимость выявления областей повышенной неопределенности в океанической среде. Это стартовый элемент рассуждений об улучшении выборки натуральных данных. Ряд работ (см., например, [3]) отмечает опору на такую технологию, названную «Статистическая оценка подпространства ошибок ESSE (Error Subspace Statistical Estimation). Наличие информации об областях повышенной неопределенности позволяет улучшить качество выборки натуральных данных путем направленных (прицельных) измерений. В настоящее время лучшим инструментом для таких измерений признаны платформы аппаратов-планеров, оснащенных измерителями гидрофизических параметров среды. На рисунке 2 представлена функциональная схема применения аппаратов-планеров для прицельных измерений в областях повышенной неопределенности, встроена в общую процедуру оценивания параметров.



Рис. 2 Использование аппаратов-планеров для оценивания параметров океанической среды с целью уменьшения неопределенности оценок [4].

Работа выполнена по теме госзадания для ИОРАН №FMWE-2024-0024

ЛИТЕРАТУРА

1. Коваленко, В.В. Приложения систем оперативной океанографии в подводной акустике // МСОИ-2019 Материалы XVI н/т конференции, том 2.- М.: ИД Академии Жуковского, 2019 с. 13-17
2. Коваленко В.В., Родионов А.А., Селезнев И.А. Аппараты-планеры в задачах подводного наблюдения // Труды Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 465 с.. – С. 45–49.
3. Wang, D., et al., Acoustically focused adaptive sampling and on-board routing for marine rapid environmental assessment, J. Mar. Syst. (2009), doi:10.1016/j.jmarsys.2009.01.037
4. Barron C.N. Implementing glider observation strategies, 17th Conference IOAS-AOLS, 6-10 Jan. 2013 USA

УДК 551.465

**ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ СРЕДНЕДЕКАДНЫХ ПРОФИЛЕЙ
ТЕМПЕРАТУРЫ В ДЕЯТЕЛЬНОМ СЛОЕ ЧЕРНОГО МОРЯ НА
АКВАТОРИИ ПОЛИГОНА «ГЕЛЕНДЖИК» И МЕХАНИЗМЫ
ИХ ЭВОЛЮЦИИ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА**

Зацепин А.Г., Подымов О.И., Сильвестрова К.П., Мурзакова Ю.В.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр.,
36, 117997, г. Москва, 8(499)124-63-92, dmelkin@mail.ru*

**PARAMETRIZATION OF TEN-DAY AVERAGED TEMPERATURE
PROFILES IN THE ACTIVE LAYER OF THE BLACK SEA AT THE
GELENDZHNIK MONITORING SITE AND MECHANISMS OF THEIR
EVOLUTION IN THE WARM SEASON OF THE YEAR**

A.G. Zatsepin, O.I. Podymov, K.P. Silvestrova, Yu.V. Murzakova

*P.P. Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences
zatsepin@ocean.ru*

Среднедекадные профили температуры, рассчитанные по данным STD-зондирований в теплый период года в Черном море на полигоне «Геленджик», представлены в безразмерном виде и аппроксимированы степенной зависимостью.

Ten-day averaged temperature profiles calculated from STD sounding data during the warm period of the year in the Black Sea at the Gelendzhik testing site are presented in dimensionless form and approximated by a power-law dependence.

Ключевые слова: Черное море, полигон «Геленджик», профили температуры, безразмерный вид, степенная аппроксимация, закономерности эволюции профилей.

Key words: Black Sea, Gelendzhik monitoring site, temperature profiles, dimensionless form, power approximation, pathways of profile evolution.

По данным STD-зондирований, выполненных в 2010–2023 гг. в северо-восточной части Черного моря на полигоне «Геленджик», рассчитаны: а) среднедекадное (10 суток) относительное

теплосодержание (теплозапас) деятельного слоя (ДС) моря; б) среднедекадные распределения температуры в ДС по вертикали (профили температуры). Проанализировано изменение теплозапаса ДС и профилей температуры в теплый период года, с апреля по ноябрь. Отдельно рассчитаны теплозапасы верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) и сезонного термоклина (СТ), которые в сумме составляют теплозапас ДС. Оценки, полученные по реальным данным, сопоставлены с расчетами суммарного потока тепла по данным реанализов ERA5, NCEP CFSv2 и WHOI OAFflux. Показано, что наиболее близкий к реальному результат дает использование данных реанализа NCEP CFSv2.

Описаны характеристики ВКС и его эволюции, а также закономерности эволюции СТ в зависимости от потоков плавучести и турбулентной энергии на границе раздела вода-воздух и положения нижней границы ДС.

Среднедекадные профили температуры в сезонном термоклине представлены в безразмерном виде. Установлено, что в период с мая по вторую декаду ноября включительно совокупность безразмерных профилей температуры описывается степенной функцией:

$$T' = 0.986 \cdot z'^{8/3} + 0.025 \quad (1)$$

где T' и z' – соответственно безразмерная температура и глубина: $T' = (T - 9^\circ\text{C}) / (T_0 - 9^\circ\text{C})$; $z' = (z - z_1) / (H_0 - z_1)$, T – температура воды, z – глубина, отсчитываемая от поверхности моря, 9°C – значение температуры, с которого начинается весенний прогрев моря, z_1 – глубина залегания изотермы 9°C (нижняя граница ДС), T_0 и H_0 – среднедекадная температура и глубина верхнего квазиоднородного слоя, соответственно (рис. 1). Такого рода универсальное для теплого периода года строение сезонного термоклина свидетельствует о наличии автомодельного механизма его формирования, исследование которого является предметом дальнейшей работы авторов. Ранее подобного рода степенные зависимости были предложены в [1, 2] для представления безразмерных профилей температуры в Тихом океане и в [3] – в Черном море.

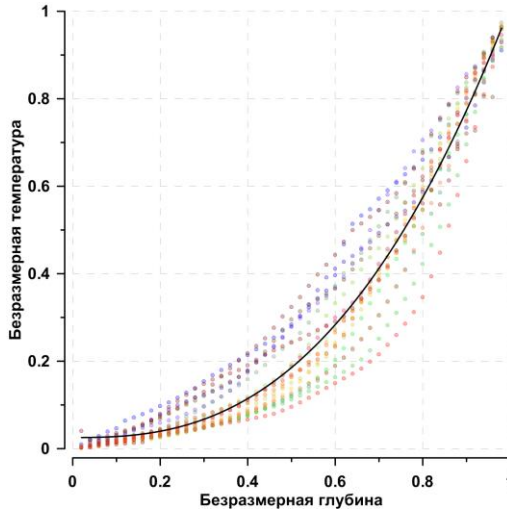


Рис. 1. Безразмерные профили температуры в ДС в период с 4 по 23 декаду включительно (с начала мая по вторую декаду ноября) показаны разноцветными точками. Черная кривая – степенная аппроксимация (1).

Обратный переход от безразмерного среднедекадного профиля температуры к размерному с использованием (1) и добавлением однородного по глубине распределения температуры в верхнем квазиоднородном слое, позволяет рассчитать среднедекадные профили температуры во всем деятельном слое за период с мая по середину ноября (рис. 2) и использовать их для оценки отклонения реально измеренных профилей от среднего. Величина и характер этого отклонения могут оказывать влияние на такие экологически важные параметры, как содержание климатически активных газов (углекислый газ и др.), а также первичную продукцию в деятельном слое моря. Исследование связи этих параметров с отклонениями измеренных профилей температуры от среднедекадных также является задачей будущих исследований.

Выявлены три стадии эволюции ВКС: а) март–апрель – эпизодическое возникновение и исчезновение ВКС на фоне слабого квазиравномерного градиента температуры в ДС; б) май–август – квазистационарный ВКС (баланс турбулентной энергии и положительной плавучести); д) сентябрь–ноябрь – заглужение ВКС за счет волно-ветрового и конвективного перемешивания: оба фактора существенны.

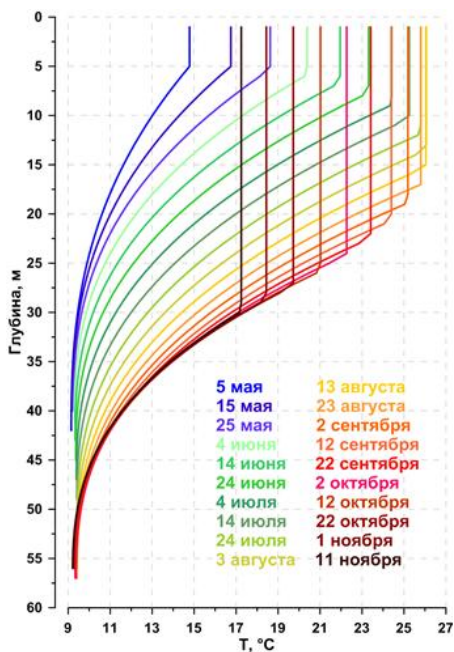


Рис. 2. Рассчитанные на основе (1) среднедекадные профили температуры $T(z)$ в деятельном слое моря (май–ноябрь)

БЛАГОДАРНОСТИ.

Работа выполнена по теме госзадания FMWE-2024-0016 и при поддержке гранта РФФ №23-17-00056.

ЛИТЕРАТУРА

1. Миропольский Ю.З., Филюшкин Б.Н., Чернышков П.П. О параметрическом описании профилей температуры в деятельном слое океана // Океанология, 1970, т. 10, N 6, С. 178-188.
2. Филюшкин Б.Н., Миропольский Ю.З. Сезонная изменчивость верхнего термоклина и автомодельность профилей температуры // Океанология. 1981. Т. 21. №3. С. 416-423.
3. Акимов Е.А., Полонский А.Б., Станичный С.В. Параметризация вертикального профиля температуры в сезонном термоклине Черного моря // Морской гидрофизический журнал. 2014. №3. С.21-29.

**СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ БУЙ
ДЛЯ МОНИТОРИНГА В УСЛОВИЯХ КУРИЛО–
КАМЧАТСКОГО СЕЙСМОАКТИВНОГО РЕГИОНА**

Левченко Д.Г.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36,
117997, г. Москва, 8(499)124-13-01, levch35@mail.ru*

**STABILIZED RESEARCH BUOY FOR MONITORING IN THE
CONDITIONS OF THE KURIL–KAMCHATKA SEISMICALLY
ACTIVE REGION**

Levchenko D.G.

*P.P. Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

Курило-Камчатский сейсмоактивный регион характерен относительно близким расположением зоны субдукции к побережью. Это обстоятельство создает существенные трудности для обнаружения волн цунами и организации необходимых мер защиты. Важным шагом в направлении прогноза цунамигенных землетрясений явилась разработка акустоспутниковых геодезических методов измерения движения тектонических плит в этой зоне. Предлагается для связи между спутниковой и донной акустической системами использовать подповерхностный стабилизированный буй типа *Обращенный маятник* с выдвигной мачтой. Приводится анализ функционирования основных элементов буя и расчет его смещения под влиянием течений.

The Kuril-Kamchatka seismically active region is characterized by the relatively close location of the subduction zone to the coast. This fact creates significant difficulties for detecting tsunami waves and organizing the necessary protective measures. An important step towards forecasting tsunamigenic earthquakes was the development of acousto-satellite geodetic methods for measuring the movement of tectonic plates in this zone. It is proposed to use a subsurface

stabilized buoy of the *Inverted pendulum* type with a retractable mast for communication between satellite and bottom acoustic systems. The analysis of the functioning of the main elements of the buoy and the calculation of its displacement under the influence of currents are given.

Ключевые слова: зона субдукции, цунамигенные землетрясения, акустоспутниковые геодезические методы, ледовое покрытие, стабилизированный буй, выдвижная мачта

Keywords: subduction zone, tsunamigenic earthquakes, acousto-satellite geodetic methods, ice cover, stabilized buoy, retractable mast

Курило-Камчатский сейсмоактивный регион характеризуется относительно близким расположением глубоководного желоба зоны субдукции к побережью. Сильные мелкофокусные землетрясения, возникающие в этом районе, могут возбуждать волны цунами, которые достигнут берега через 15 – 20 минут, что недостаточно для принятия существенных защитных действий. Традиционные методы предупреждения цунами опасности, как мариографические, так и магнитудогеографические здесь недостаточно эффективны. Необходим прогноз цунамигенных землетрясений, основанный на более глубоком контроле тектонических процессов в зоне субдукции. Важным шагом в этом направлении явилась разработка спутниковых, а затем, акустоспутниковых геодезических методов измерения движения тектонических плит и их частей в этой зоне. Для связи между спутниковой и донной акустической измерительными системами обычно используются ретрансляторы на морских судах. Однако в Курило – Камчатском регионе определенное время года водная поверхность покрыта стационарными или дрейфующими льдами, что значительно ограничивает судоходство. Использование для этих целей подповерхностных стабилизированных буюв с выдвижной мачтой открывает существенные перспективы. Следует учитывать, что в данном регионе разрушение ледяного покрова происходит не только от температуры в теплое время года, но и под действием волн, ветра и течений даже в осенне-зимний период. Поэтому использование буя представляется более гибким и экономически выгодным решением, чем организация специальных корабельных рейсов.

Необходимо отметить, что главным источником погрешностей при подводных измерениях расстояний является изменчивость скорости звука в пространстве и во времени. Для уменьшения влияния

этого параметра применяют специальную распределенную систему размещения донных транспондеров и производят непрерывные измерения скорости звука вдоль акустических трасс с введением соответствующих поправок. Минимум погрешности получается при размещении поверхностного ретранслятора над барицентром системы донных транспондеров.

Предлагается для этих целей использовать подповерхностный стабилизированный буй типа *Обращенный маятник* с выдвигной мачтой и малорастяжимым буйрепом. В бую этого типа стабилизация движения осуществляется по отношению ко дну, и сила плавучести заменяет гравитацию. Вертикальное положение буя обеспечивается значительным превышением силы плавучести над силами горизонтального смещения. Буи типа *Обращенный маятник* находят применение для исследования медленных движений дна на мелководье, для калибровки спутниковой оптической аппаратуры и в других случаях, когда требуется строгая фиксация измерительных приборов в пространстве и по отношению ко дну. Для рассматриваемой цели предлагается использовать подобный буй при значительной глубине дна порядка 3 километров. Дополнительно буй может быть использован в системе комплексного гидрофизического мониторинга с передачей данных по спутниковым каналам связи. Основные элементы буя предполагается изготавливать из армированных полимерных материалов необходимых физико-механических свойств. Приводится анализ функционирования основных элементов буя и расчет его смещения под влиянием течений.

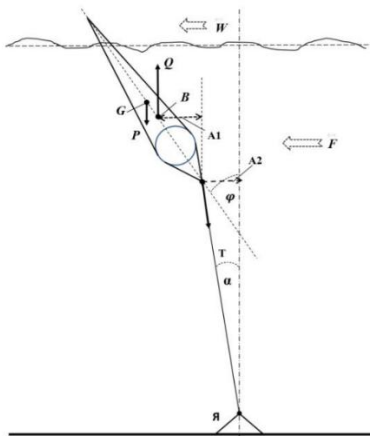


Рис.1

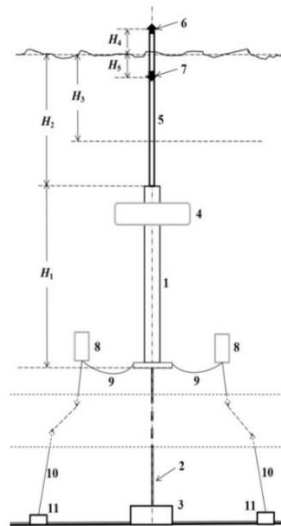


Рис. 2

Рис. 1. Принципиальная схема буя типа *Обращенный маятник*. **B** – центр плавучести; **G** – центр тяжести; **Q** – вектор плавучести; **P** – вектор тяжести; φ – угол наклона буя; **T** – вектор натяжения буй-репа; α – угол наклона буй-репа; **A1**, **A2** –возвращающие моменты, **F** – течения; **W** – ветер, волны;

Рис. 2. Схема подповерхностного буя с выдвжной мачтой. 1 – корпус буя, 2 – буйреп, 3 – якорь, 4 – поплавок, 5 – выдвжная штанга, 6 – антенны ГНСС и спутниковой связи, 7 – акустический транспондер, 8 – притопленные буйки системы исключения вращения буя, 9 и 10 – тросы, 11 – якоря, 2 – корректирующая цепь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусяков В.К. Цунами на Дальневосточном побережье России: историческая перспектива и современная проблематика // Геология и геофизика, 2016, т. 57, № 9. С. 1601—1615.
2. Fujimoto, H. Ocean Bottom Crustal Movement Observation Using GPS/Acoustic System by Universities in Japan. J. Geod. Soc. Jap. V.52, N.4. 2006, P. 265–272.
3. Левченко Д.Г. Современные морские исследовательские стабилизированные буй // Океанологические исследования. 2023. Т. 51. № 3. С. 48–72.

УДК 551.46.062.1

**СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ
МОРЯ В БУХТАХ СЕВАСТОПОЛЯ ПО ДАННЫМ БЕРЕГОВЫХ
УЛЬТРАЗВУКОВЫХ УРОВНЕМЕРОВ**

**Багаев А.В., Юровский Ю.Ю., Манилюк Ю.В., Белоконь А.Ю.,
Кальпа В.А.**

*Морской гидрофизический институт РАН,
299011, Севастополь, ул. Капитанская, 2, +7(978)7678184,
a.bagaev1984@gmail.com*

**SPECTRAL CHARACTERISTICS OF SEA LEVEL OSCILLATIONS IN
THE BAYS OF SEVASTOPOL ACCORDING TO COASTAL
ULTRASONIC GAUGES**

**Bagaev A.V., Yurovsky Yu.Yu., Manilyuk Yu.V.,
Belokon A.Yu., Kalpa V.A.**

*Marine Hydrophysical Institute RAS,
299011, Sevastopol, Kapitanskaya Str., 2, +7(978)7678184,
a.bagaev1984@gmail.com*

В докладе представлены результаты обработки данных натуральных наблюдений, полученных с трех прибрежных ультразвуковых измерителей уровня моря в прибрежной части Гераклейского полуострова (бухты Круглая, Карантинная и Голландия, г. Севастополь). Измерения уровня проводились с июня по декабрь 2024 г. Выявлены спектральные максимумы, соответствующие теоретическим локальным собственным периодам системы бухт г. Севастополя.

The report presents the data analysis from three coastal ultrasonic sea level gauges installed in the coastal part of the Heracleian Peninsula (Kruglaya Bay, Karantinnaya Bay and Hollandiya Bay, Sevastopol). The level measurements were collected out from June to December 2024. Spectral maxima corresponding to the theoretical local proper periods of the Sevastopol bay system have been identified.

Ключевые слова: Севастополь, уровень моря, ультразвуковой уровнемер, спектры, собственные колебания

Key words: Sevastopol, sea level, ultrasonic gauge, seiches

В докладе на МСОИ-2023 [1] ранее были представлены результаты эпизодических наблюдений за давлением и течениями в одной из бухт г. Севастополя (бухта Круглая) в 2022 г. Они были дополнены данными наблюдений за уровнем моря с помощью прибора, разработанного в МГИ и результатами численных экспериментов на основе численной модели SWASH и опубликованы в работе [2]. Было показано, что на спектрах океанологических характеристик в бухте Круглая достоверно определяются максимумы на периодах, значения которых превышают теоретические величины периодов локальных собственных мод данной бухты. Высказано предположение, что часть из них может быть проявлением собственных колебаний соседних бухт.

Представленные в текущей работе результаты являются логическим продолжением исследований по изучению собственных колебаний уровня моря в системе бухт Севастополя и описанию их спектральных характеристик.

За 2024 г. была изготовлена малая серия ультразвуковых измерителей уровня моря, состоящих из платы управления со слотом для карты памяти, аккумуляторного отсека, корпуса и УЗ-дальномера. Каждый прибор дополнительно оборудован излучателем и контрольной отражающей площадкой для введения поправки на скорость звука. Оборудовано три места размещения приборов: бухта Круглая, бухта Карантинная и бухта Голландия (см. рис. 1). Такое размещение позволяет получать данные из трех существенно различающихся по параметрам бухт города. Более детально схема размещения была доложена в работе [3].



Рис. 1. Схема расположения береговых измерителей уровня моря в системе бухт г. Севастополя (оранжевые маркеры: 1 – бухта Круглая, 2 – бухта Карантинная, 3 – бухта Голландия).

Впервые получены кусочно-непрерывные квазисинхронные ряды наблюдений за уровнем моря в прибрежной зоне Гераклеийского полуострова. Общее время измерений составило около 7000 часов (см. рис. 2). Измерения проведены с частотой 10 Гц, а затем осреднены на интервале 1 минута. Измерения позволяют выделить как высокочастотные длинноволновые колебания, с периодами до 1 ч, соответствующие собственным колебаниям уровня севастопольских бухт, так и глобальные сейши Черного моря, приливы, а также периоды в несколько суток, отражающие синоптические процессы.

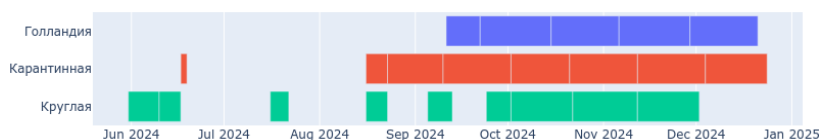


Рис. 2. Диаграмма доступности данных измерений.

Спектральный анализ рядов наблюдений показал наличие общих энергонесущих периодов для трех исследованных бухт. В некоторых случаях наблюдается высокая когерентность колебаний уровня в соседних бухтах. Результаты спектрального анализа и выявленные максимумы показаны на рис. 3. Расчеты произведены при помощи средств Python.

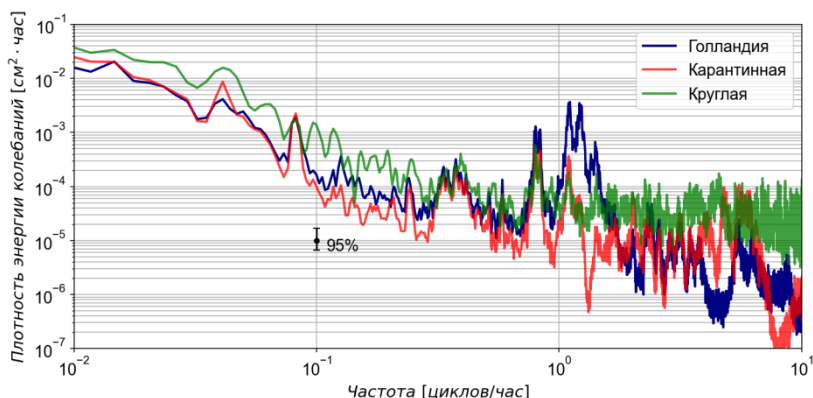


Рис. 3. Диаграмма спектральной плотности энергии колебаний уровня моря для трех станций, усредненная за весь период наблюдений. Ширина окна: 340 часов.

На спектрах суточный и полусуточный период выражены слабо,

локальная инерционная составляющая почти не проявляется. Примерно на том же уровне плотности энергии проявляются колебания с периодами 2,5, 3, и 4 часа. Существенно выделяются колебания с периодами 75, 55, 42 минут. Широко представлены и более высокочастотные колебания: 30, 25, 19, 15, 13 и 10 минут.

Отметим, что колебание с периодом около 50 минут выделяется с высокой интенсивностью во всех рядах наблюдений. Данный период принадлежит моде Гельмгольца Севастопольской бухты. Его значение определено на основе натурных наблюдений и теоретических оценок [4].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Правительства города Севастополя №24-27-20076 <https://rscf.ru/project/24-27-20076/>.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Багаев А. В. Спектры давления и течений в бухте Круглая (г. Севастополь) в июле-августе 2022 г / Багаев А.В., Шутов С.А., Щербаченко С.В., Удовик В.Ф. // Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2023) : материалы XVIII международной научно-технической конференции, издательство Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (Москва), Т. 2. – С. 167–169.
2. Manilyuk Yu. V. Sea level oscillations spectra of a shallow coastal bay: Cost-effective measurements and numerical modelling in Kruglaya Bay / Yu. V. Manilyuk, V. V. Fomin, Yu. Yu. Yurovsky, A. V. Bagaev // Regional Studies in Marine Science. – 2024. – Vol. 69. – P. 103326. – DOI: 10.1016/j.rsma.2023.103326. – EDN EINBJJ.
3. Багаев А. В. О проводимых в МГИ численных и натурных экспериментах по исследованию сейшевых колебаний в системе связанных бухт на примере системы севастопольских бухт / А. В. Багаев, А. Ю. Белоконь, Ю. В. Манилюк [и др.] // Моря России: современные методы исследований и их практические применения: Тезисы докладов VIII Всероссийской научной конференции, Севастополь, 23–27 сентября 2024 года. – Севастополь: Федеральный исследовательский центр "Морской гидрофизический институт" РАН, 2024. – С. 128-130. – EDN GJZXXH.
4. Манилюк Ю. В. Исследование сейшевых колебаний в смежных бухтах на примере Севастопольской и Карантинной бухт / Ю.В. Манилюк, Д.И. Лазоренко, В.В. Фомин // Морской гидрофизический

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКИХ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Алескерова А.А., Кубряков А.А., Станичный С.В.

*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь,
ул.Капитанская,4, Россия, 299011
Annete08@mail.ru*

STUDY OF COASTLINE CHANGES BASED ON OPTICAL SATELLITE DATA

Aleskerova A.A., Kubryakov A.A., Stanichny S.V.

*Marine Hydrophysical Institute RAS, Russian Federation, 4, Kapitanskaya,
Sevastopol, 299011, Russia*

В статье представлен автоматический алгоритм выделения береговой линии по спутниковым данным Landsat и Sentinel-2. Проведено исследование изменения береговой линии в районе Бакальской косы и в Азовском море под влиянием ветрового воздействия.

The paper presents an automatic algorithm for identifying the coastline using Landsat and Sentinel-2 satellite data. A study of changes in the coastline in the area of the Bakal Spit and in the Sea of Azov under the influence of wind was carried out.

Ключевые слова: Черное море, Landsat, Sentinel-2, береговая линия
Key words: Black Sea, Landsat, Sentinel-2, coastline

Прибрежные районы морей являются важной частью водной экосистемы, т.к. связаны со многими видами деятельности человека: навигацией, рыбным промыслом, рекреацией. Значительные природные и антропогенные нагрузки на прибрежные зоны являются причиной стремительно протекающих в них процессов, приводящих к ухудшению качества вод, исчезновению морской флоры и фауны, эрозии

береговой линии, переносу и переотложению донного материала.

Цель данной работы разработать автоматический алгоритм выделения береговой линии по спутниковым данным Landsat и Sentinel-2, изучить изменение береговой линии в районе Бакальской косы и в Азовском море под влиянием ветрового воздействия.

В статье [1] предложена методика анализа изменений береговой линии по спутниковым данным. Используется комбинация ИК каналов двух разнесенных во времени изображений. В настоящей работе для выделения береговой зоны и изучения изменения береговой линии также использовался ближний ИК канал (Near Infrared, NIR). Излучение инфракрасного участка спектра поглощается полностью в тонком поверхностном слое моря, не проникая в глубину, что дает резкий контраст между морем и сушей и тем самым позволяет выделить границу между ними. Для разделения суши от воды определялось пороговое значение яркости, равное для большинства снимков со спутника Landsat 0,07, для снимков со спутника Sentinel-2 использовался критерий яркости $R_c=0,15$. На основе последовательных снимков были выделены пиксели соответствующие границе суши.

Таким образом, был разработан автоматический алгоритм выделения береговой линии по спутниковым снимкам Landsat 8,9 и Sentinel-2. Проведен анализ изменения береговой линии по 140 безоблачным снимкам исследуемого района с 2013 по 2024 гг.

Отмечено максимальное изменение формы острова, бывшей дистальной части Бакальской косы и некоторое его смещение на восток, что показано на рис.1. Показано влияние штормового ветра на изменение береговой линии на мелких временных масштабах благодаря комбинации снимков со спутника Landsat 8,9 и Sentinel-2.

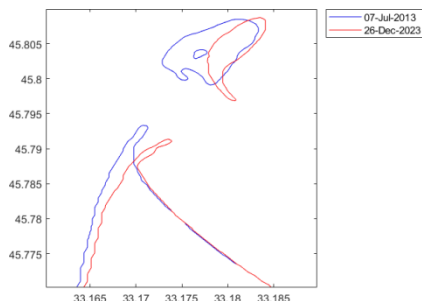


Рис. 1. Изменение береговой линии Бакальской косы за 10-ий период
Полученные результаты согласуются с данными опубликованными в статье [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Станичная, Р. Р. Методика анализа изменчивости береговой линии по спутниковым данным / Станичная Р. Р., Станичный С. В., Горячкин Ю. Н. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2016. – №. 1. – С. 22-29.
2. Горячкин, Ю. Н. Образование нового острова у берегов Крыма / Горячкин Ю. Н., Косьян Р. Д. // Океанология. – 2020. – Т. 60. – №. 2. – С. 323-330

УДК 551.46.083

ДОРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ СВОБОДНОПАДАЮЩЕГО МИКРОСТРУКТУРНОГО ЗОНДА ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ЕГО ДВИЖЕНИЯ

**Коржуев В. А., Чухарев А., Павлов М.И., Казаков Д.А.,
Давидович О. Р.**

*Морской гидрофизический институт РАН, 299011, Севастополь, ул.
Капитанская, дом 2
+7 (8692) 54-52-41, office-mhi@mail.ru*

FREE-FALLING MICROSTRUCTURE PROBE TECHNICAL EQUIPMENT IMPROVEMENT TO STABILIZE ITS MOVEMENT

Korzhev V.A., Chukharev A. M., Pavlov M. I., Kazakov D.A.,
Davidovich O.R.

*Marine Hydrophysical Institute of RAS, 2, Kapitanskaya Str.
299011, Sevastopol, Russian Federation*

В статье представлена часть инженерной деятельности Морского гидрофизического института, относящаяся к обслуживанию и применению микроструктурного зонда MSS90L, анализу и обработке получаемых измерений.

Ключевые слова: морская турбулентность, натурные измерения, микроструктура, скорость диссипации.

Key words: marine turbulence, field measurements, microstructure, dissipation rate.

Проведение микроструктурных измерений свободнопадающими турбулиметрами является сложной конструкторской задачей, требующей учета значительного числа независимых факторов. В работе [Lueck, 2002] сформулированы основные требования, которые предъявляются к измерениям зондирующими комплексами в океане, где указано, что имеющийся носитель должен равномерно перемещать датчик, это позволяет получать пространственный ряд измеряемого параметра, т.е. его профиль. Неравномерность движения, «рысканье» прибора, а также слишком высокая скорость падения в результате могут привести к некачественным измерениям.

В настоящей работе приводится описание мероприятий, выполненных для доработки элементов плавучести зонда MSS90L от компании Sea and Sun, чтобы повысить курсовую устойчивость прибора.

MSS90L – зонд, предназначенный для проведения микроструктурных измерений морских вод. Разработан для вертикального профилирования до глубины 500 м (опционально до 1000 м). В процессе зондирования осуществляется широкий спектр измерений: микроструктура полей температуры, электропроводности, сдвигов горизонтальных пульсаций скорости, а также концентрация хлорофилла и кислорода, мутность, CTD, имеется датчик горизонтальных ускорений (акселерометр), частота опроса 1024 Гц.

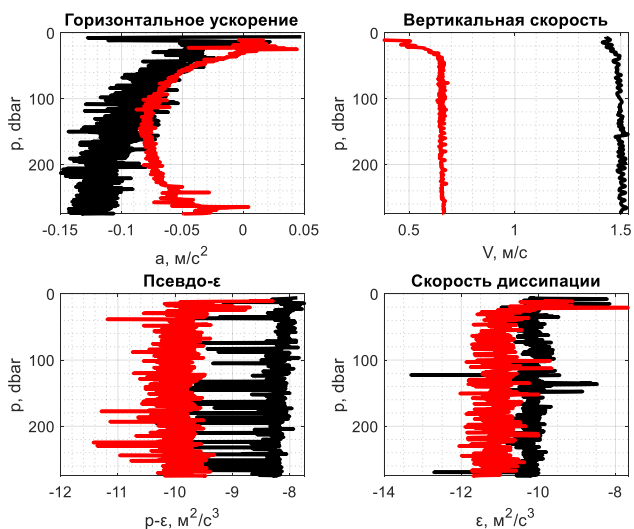
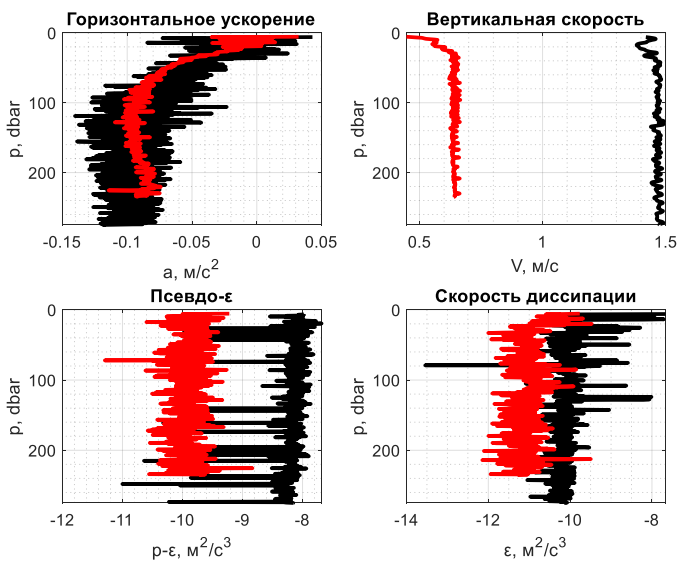
Стабилизация движения прибора во время зондирования

достигается методом разнесения центра масс и центра плавучести на максимальное расстояние. На качество измерений также оказывает влияние форма элементов плавучести, их обтекаемость и устойчивость к деформациям при повышении внешнего давления.

Вычисление скорости диссипации турбулентной энергии ε осуществляется по показаниям датчиков сдвига с использованием подгонки к модельному спектру Насмита итерационным способом. Подгонка осуществляется в самоадаптирующемся диапазоне волновых чисел от k_1 до k_2 . В то время, как отсечка по нижнему волновому числу обычно устанавливается на 2 цикл·м⁻¹, отсечка по верхнему k определяется в итеративной процедуре. Диапазон волновых чисел для соответствия спектру Насмита можно задавать вручную. Аналогично расчету скорости диссипации, вычисляется скорость псевдо-диссипации на основе псевдо-сдвига. Таким образом получаем параметр псевдо-эпсилон ε_p – вклад собственных вибраций профилемера в измеряемую скорость диссипации.

В ходе 122 рейса НИС «Профессор Водяницкий» в 2022 г. при работе с MSS90L были использованы штатные плавучести из пенопласта, которые при зондировании на глубину свыше 500 метров, уменьшились в объеме в результате пластической деформации и потеряли часть своей плавучести, что привело к увеличению скорости падения прибора и усилению вибрации профилемера. Данная проблема решалась путем изготовления новых элементов плавучести из специально подобранного материала – сферопластика, обладающего несколько большей удельной плавучестью (55% на единицу массы), но и гораздо большей устойчивостью к сжатию. Был проведен расчет необходимой положительной плавучести, которая должна обеспечивать заданную скорость погружения, и изготовлены новые тороидальные элементы. Размер новых дисков составил 195x92x83 мм, при массе 800 г.

В ходе 133 рейса НИС «Профессор Водяницкий» по Черному морю в 2024 году были проведены методические работы, во время которых испытаны новые элементы плавучести. Контрольные зондирования показали устойчивость этих элементов к высокому давлению, возможность варьировать скорость падения зонда подбором необходимого количества элементов и в результате значительное улучшение измеряемых характеристик турбулентности. Полученные результаты сравнивались с измерениями на аналогичных станциях в 2022 году, результаты сравнения представлены на рисунках 1 и 2.



На основе изученных профилей можно сделать вывод, что наблюдается вдвое меньший диапазон горизонтальных ускорений a , это доказывает повышение стабильности его движения. Скорость вертикального профилирования V снижена до рекомендованной в методической документации (0,3-0,7 м/с). Также видно существенное уменьшение значение величины p - ϵ , характеризующей вклад собственных колебаний прибора (почти на два порядка) в измеренные величины сдвигов пульсаций скорости.

Подводя итоги, можно отметить следующие результаты:

Были изготовлены новые элементы плавучести, превосходящие по своим характеристикам оригинальные комплектующие прибора и имеющие большой запас положительной плавучести;

Проведены измерения турбулентного режима в акватории Черного моря и показано, что скорость профилирования, собственные вибрации прибора и вклад вибраций в измеряемую турбулентность существенно ниже, чем при измерениях в исходной комплектации;

Таким образом, доработка оснастки измерительного комплекса позволила существенно улучшить качество измеряемых сдвигов пульсаций скорости и повысить достоверность оценки скорости диссипации.

Разработка и изготовление новых элементов технической оснастки микроструктурного зонда и проведение анализа результатов выполнено при поддержке гранта РФФ № 22-17-00150. Проведение натурных испытаний в ходе 133-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» произведено в рамках выполнения задания FNNN-2024-0001, шифр «Океанологические процессы».

ЛИТЕРАТУРА

1. Lueck R.G. Oceanic velocity microstructure measurements in the 20th century / R.G. Lueck, F. Wolk, H. Yamazaki // *Journal of Oceanography*. – 2002. – Vol. 58. – P. 153–174.

УДК

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИГОНА «ГЕЛЕНДЖИК» ИОРАН ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ

Зацепин А.Г.¹, Веремьев В.И.², Горбачкий В.В.³, Григорьев А.В.⁴,
Дивинский Б.В.¹, Коваленко В.В.¹, Кременецкий В.В.¹,
Кубряков А.И.⁵, Куклев С.Б.¹, Мысленков С.А.^{1,6},
Островский А.Г.¹, Телегин В.А.^{1,7}

¹ФГУБН Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН, Россия,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, zatsepin@ocean.ru

²НИИ «Прогноз», СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5, литера Ф, ver_vi@mail.ru

³ФГУП "Крыловский государственный научный центр",
Россия, Санкт-Петербург, ш Московское, 44, v.gorbatskiy@gmail.com

⁴ФГБУ «ГОИН», Россия, 119034, Москва, Кропоткинский пер.,
д.6с1, ag-privat@mail.ru

⁵ФГУБН ФИЦ МГИ РАН, Россия, 299011, Севастополь, ул.
Капитанская, дом 2, alexander.kubryakov@mhi-ras.ru

⁶ФБГУО МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия, 119991, Москва,
Ленинские горы, д.1, stasocean@gmail.com

⁷ФГБУН ИЗМИРАН, Россия, 108840, г. Москва, г. Троицк,
Калужское шоссе, д. 4, yatelegin@yandex.ru

USAGE OF THE SIO RAS GELENDZHIC MONITORING SITE FOR COMPREHENSIVE RESEARCH OF METHODS AND MEANS OF OPERATIONAL OCEANOGRAPHY

Zatsepin A. G.¹, Veremyev V.I.², Gorbatsky V.V.³, Grigoriev A.V.⁴,
Divinsky B.V.¹, Kovalenko V.V.¹, Kremetskiy V.V.¹, Kubryakov A.I.⁵,
Kuklev S.B.¹, Myslenkov S.A.^{1,6}, Ostrovsky A.G.¹, Shchuka S.A.¹,
Telegin V.A.^{1,7}

¹P.P.Shirshov institute of Oceanology of RAS, Russia, 117997,
Nakhimovsky ave., 36, Moscow, zatsepin@ocean.ru

²Scientific Research Institute "Forecast", St. Petersburg Electrotechnical
University "LETI", Russia, 197022, St. Petersburg, st. Professora Popova,
5, letter F, ver_vi@mail.ru³Krylov State Research Centre,
44, Московское шоссе, St. Petersburg, 196158, Russian Federation

⁴ *N.N.Zubov's State Oceanographic Institute, Russia, 119034, Kropotkinskij lane, 6/1, Moscow, ag-privat@mail.ru*

⁵ *FSBSI FRC "Marine Hydrophysical Institute of RAS", Russia, 299011, 2, Kapitanskaya Str., Sevastopol, alexander.kubryakov@mhi-ras.ru*

⁶ *Lomonosov Moscow State University, Russia, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1, stasocean@gmail.com*

⁷ *Russian Federation, 108840, Moscow, Troitsk, Kaluzhskoe Hwy 4, IZMIRAN*

Обсуждается план комплексного экспериментального исследования методов и средств оперативной океанографии (автономные контактные, судовые и радиолокационные измерения, численное моделирование с усвоением данных) на полигоне «Геленджик» ИОРАН в сентябре-октябре 2025 г.

A plan for a comprehensive experimental study of methods and means of operational oceanography (autonomous contact, ship and radar measurements, numerical modeling with data assimilation) at the Gelendzhik monitoring site of IO RAS in September-October 2025 is being discussed.

Ключевые слова: оперативная океанография, методы и средства, комплексное экспериментальное исследование, полигон «Геленджик» ИО РАН

Key words: operational oceanography, methods and means, complex experimental research, Gelendzhik monitoring site of IO RAS

На протяжении более чем десяти лет в Геленджике на базе Южного отделения ИО РАН создан и успешно функционирует гидрофизический полигон (полигон «Геленджик»). Методы и средства наблюдений, используемые на этом полигоне, включают в себя:

1) эпизодическое использование текущей спутниковой информации в инфракрасном и видимом диапазонах спектра (температура и цвет морской воды), а также данных зарубежных спутниковых альтиметров для выявления структуры поверхностного течения и оценки его скорости;

2) регулярные (с апреля по ноябрь, приблизительно раз в 2 недели) судовые разрезы в области шельфа - континентального склона с регулярным выполнением STD зондирования по измеряемым параметрам (электропроводность, соленость, температура) с борта МНИС БПМ-74 «Ашамба»;

- 3) пространственные съемки поля скорости течения и скалярных гидрофизических параметров (температура, соленость, плотность) с помощью судового акустического доплеровского профилографа скорости течения (ADCP) и CTD-зондирований;
- 4) долговременное измерение вертикальных распределений температуры с помощью автономных заякоренных термокос, в том числе, с оперативной передачей данных измерений в береговой центр по донному оптоволоконному кабелю;
- 5) долговременное (на протяжении многих месяцев) измерение профилей скорости течения и сигнала обратного акустического рассеяния с помощью донных станций с ADCP, в том числе, с оперативной передачей данных измерений в береговой центр по донному оптоволоконному кабелю;
- 6) долговременное измерение профилей температуры, солености, плотности воды, а также скорости течения и обратного акустического рассеяния с помощью автономных зондов-профилографов «Аквалог» отечественной разработки на заякоренных буйковых станциях;
- 7) долговременное регулярное измерение профилей температуры, солености и плотности воды на шельфе с помощью заякоренного зонда-профилографа «Винчи» с оперативной передачей данных измерений по каналу мобильной GSM связи;
- 8) эпизодические (по потребности) измерения поля скорости приповерхностного течения с помощью дрейфтеров верхнего слоя с передачей данных по каналу мобильной GSM связи;
- 9) эпизодические измерения поля морских течений с помощью КВ и СВЧ радиолокаторов.

Все вышеперечисленные методы и средства планируется использовать на полигоне «Геленджик» в сентябре-октябре 2025 г. с целью: а) верификации данных измерения скорости поверхностного течения и характеристик волнения с помощью КВ-радиолокаторов, а также данных расчетов с использованием численных гидродинамических моделей; б) получения данных для верификации и последующего усвоения в численных гидродинамических моделях.

В качестве основного средства численного моделирования будет использована иерархическая гидродинамическая модель с технологией двойного вложения сеток (крупномасштабная модель Черного моря, региональная модель северо-восточной части Черного моря и локальная модель расширенной акватории Полигона). При этом данные крупномасштабной или общебассейновой модели (модель NEMO) всего Черного моря обеспечивают необходимыми параметрами региональную модель акватории северо-восточной

области моря для задания начальных и граничных условий, которая, в свою очередь, передает необходимые данные в локальную модель, охватывающую акваторию Полигона. Региональная и локальная модели представляют собой версии модели POM (Princeton Ocean Model), разработанные в рамках европейских рамочных программ в качестве составляющих системы морских прогнозов в прибрежных районах Черного моря.

Атмосферное воздействие рассчитывается по региональной атмосферной модели WRF, входными данными для которой служат поля объективного анализа и прогноза GFS (Global Forecasting System). Параметры волнения рассчитываются по модели PABM (Российская Атмосферно-Волновая Модель). Горизонтальное разрешение общепобереговой модели составляет ~5 км, региональной ~1 км, локальной ~150 м, атмосферной ~10 км. Рельеф дна создан на основе базы данных GEBCO (шаг исходной сетки ~1 км) посредством линейной интерполяции в узлы расчетных сеток. Система обеспечивает ежедневный диагноз и прогноз (3-5 суток) трехмерной динамики и термохалинной структуры вод, метеорологических характеристик, значимых высот и направления распространения волн.

Кроме того, в качестве дополнительного инструмента численного моделирования, будет использована трехмерная гидродинамическая модель DHI MIKE 3 (далее – MIKE), позволяющая рассчитывать трехмерные поля течения и волнения, а также распределения температуры и солености в зависимости от внешнего воздействия (ветровой форсинг, приливной потенциал, речной сток, испарение-осадки, солнечная радиация и др.) Характерные линейные размеры расчетной сетки составляют 8-10 км в открытом море и 300-400 м (для блока спектральной волновой модели – 25-30 м) в пределах Полигона. Основная цель использования этой модели — исследование мезомасштабной и субмезомасштабной изменчивости в шельфово-склоновой зоне моря.

Результаты этого комплексного эксперимента определяют дальнейшие практические шаги по созданию макета системы оперативной океанографии в черноморском бассейне в интересах улучшения подводного наблюдения (с возможностью последующего ее распространения на другие акватории).

Работа выполнена в рамках темы госзадания 8.5.

**ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ И ПОВТОРЯЕМОСТЬ
ШТОРМОВОГО ВОЛНЕНИЯ В ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЯХ
ЧЁРНОГО МОРЯ**

Гиппиус Ф. Н.

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
119991, Москва, Ленинские горы, 1, 8(495)939-2215,
gippiusfn@my.msu.ru*

**DURATION AND FREQUENCY OF STORM WAVES IN THE
COASTAL AREAS OF THE BLACK SEA**

Gippius F. N.

*Lomonosov Moscow State University,
1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia.*

На основе современного реанализа Black Sea Waves Reanalysis выполнена оценка штормовой активности в 19 пунктах, равномерно расположенных вдоль побережья Чёрного моря. Для каждого пункта составлен календарь штормов, определены, среди прочего, максимальные высоты значимых волн во время штормов, продолжительность шторма и предшествующего окна погоды.

The modern Black Sea Waves Reanalysis is applied to assess the storminess parameters in 19 locations along the coast of the Black Sea. A catalogue of storms was created for each location, and various parameters were calculated for each storm, including maximal significant wave heights and the storm duration.

Ключевые слова: штормовое волнение, Чёрное море, прибрежные акватории, многолетняя изменчивость, сезонная изменчивость, пространственная изменчивость.

Key words: storm waves, Black Sea, coastal areas, multiannual variability, seasonal variability, spatial variability.

Штормовое волнение существенно влияет как на естественные морские экосистемы, так и на хозяйственную деятельность человека на море. Например, в результате штормов происходит трансформация берегов и подводных форм рельефа; экстремальное волнение ограничивает судоходство, работу береговой и морской инфраструктуры. Например, в результате относительно недавних штормов 11 ноября 2007 г., 14 декабря 2009 г. и 15 декабря 2024 г. был нанесён ущерб береговым сооружениям, затонуло несколько судов, в результате чего в море попали загрязняющие вещества, в том числе мазут.

Этими причинами вызван интерес к изучению штормового волнения в прибрежных акваториях Чёрного моря и систематизации знаний о штормовых процессах.

Современные численные модели и созданные на их основе реанализы способны предоставить достаточный исходный материал для таких исследований. В данном исследовании за основу взят реанализ Black Sea Waves Reanalysis, в котором параметры ветрового волнения рассчитаны на основе данных о ветре из реанализа ERA5 и численной волновой модели WAM Cycle 6. Пространственное и временное разрешение этого реанализа составляет $1/40^\circ$ и 1 час соответственно. Коэффициент корреляции между высотами значительных волн по материалам реанализа и по измерениям спутников Jason-1, Jason-2 и Jason-3 составляет 0.94, что говорит о высоком качестве данного реанализа и его пригодности для исследований штормового волнения [1]. Оценка штормовой активности в прибрежных акваториях Чёрного моря выполнена на основе анализа данных для 19 пунктов, расположенных вдоль берега моря (рис. 1). Как видно, особое внимание уделено северо-западному берегу от м. Тарханкут до устья р. Псоу.

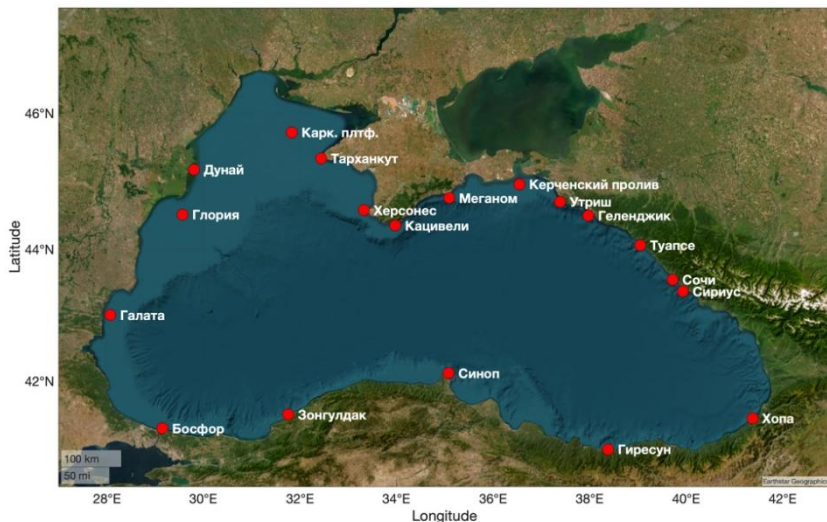


Рис. 1. Расположение прибрежных пунктов на акватории Чёрного моря.

Шторма выделялись по методу Peak over threshold [2], то есть под штормом понималась ситуация, при которой значительная высота волны превышает заданный критерий. В качестве критериев выбраны высоты волн в диапазоне от 2 до 8 м с шагом 1 м.

Основные статистические параметры штормовой активности в рассматриваемых пунктах приведены в табл. 1; здесь в качестве порогового значения выбрана значительная высота волны 2 м. Наименее выраженная штормовая активность в терминах как количества штормов, так и их средней продолжительности отмечается в восточной и юго-восточной части моря (пункты Сочи, Сириус и Гиресун). Напротив, в западной и северо-западной части моря штормовая активность наибольшая. Так, максимальное количество штормов (2141 шт.) выявлено в пункте Глория, а максимальная средняя продолжительность шторма (23.9 ч) – в пункте Босфор. Наибольшая высота значительных волн (9.52 м) была зафиксирована в пункте Херсонес.

Таблица 1. Основные статистические параметры штормовой активности в рассматриваемых пунктах («SWH_{max}» – максимальная значительная высота волны, м).

Пункт	Количество штормов	SWH _{max}	Средняя продолжительность шторма, ч
Босфор	1479	7.03	23.9
Дунай	820	5.09	16.5
Галата	885	5.89	20.5
Геленджик	1359	7.03	15.6
Гиресун	529	4.58	10.0
Глория	2141	6.70	18.3
Хона	639	5.15	11.4
Карк. плтф.	2105	7.09	14.1
Кацивели	1100	8.47	15.4
Керченский пролив	1741	7.50	15.6
Херсонес	1473	9.52	13.8
Меганом	895	7.25	14.9
Синоп	1723	6.84	14.9
Сириус	466	5.09	10.7
Сочи	449	5.08	10.3
Тарханкут	1402	7.10	13.1
Туапсе	922	5.60	12.0
Утриш	1281	7.05	15.0
Зонгулдак	1097	6.28	15.2

ЛИТЕРАТУРА

1. Staneva, J., Ricker, M., & Behrens, A. (2022). Black Sea Waves Reanalysis (CMEMS BS-Waves, EAS4 system) (Version 1) [Data set]. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). https://doi.org/10.25423/CMCC/BLKSEA_MULTIYEAR_WAV_007_006_EAS4
2. Pickands, J. Statistical Inference Using Extreme Order Statistics // Ann. Stat. 1975. Т. 3. № 1. С. 1215–1230.

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЗОНДА-ПРОФИЛЕМЕРА «ВИНЧИ»

Островский А.Г., Кочетов О.Ю., Швоев Д.А., Зацепин А.Г.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36, 8(499)124-72-90,
dshv@ocean.ru*

FIELD RESEARCH USING OF THE WINCHI PROFILER

Ostrovskii A.G., Kochetov O.Y., Shvoev D.A., Zatsepin A.G.

*Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences,
36 Nakhimovsky Prosp., Moscow 117997, Russia*

Представлены новые данные о временной изменчивости стратификации черноморских вод, поступлении фотосинтетически активной радиации и динамике растворенного кислорода в ходе многосуточной постановки зонда-профилемера «Винчи» в составе автоматической станции, заякоренной в акватории Полигона «Геленджик» ИО РАН в сентябре 2024 г.

New data are presented on the temporal variability of the stratification of Black Sea waters, the influx of photosynthetically active radiation and the dynamics of dissolved oxygen during the multi-day deployment of the Winchi profiling probe as part of an automatic station in the waters of the Gelendzhik Polygon of Shirshov Institute of Oceanology in September 2024.

Автономный подводный зонд-профилемер «Винчи» [1-2] предназначен для решения задач оперативной океанологии в прибрежной зоне моря на глубинах до 50-60 м. Аппарат в автоматическом режиме регулярно всплывает из придонного слоя моря, проводя измерения параметров водной среды, и после всплытия передает данные измерений по каналу мобильной телефонной связи. Благодаря оснащению встроенной лебедкой, трос от которой присоединен к донному якорю, аппарат может работать в

фиксированной географической точке длительное время порядка месяца. Для детального изучения внутрисуточной изменчивости проводятся регулярные мультипараметрические тонкоструктурные зондирования с интервалом 1-2 часа с шагом по вертикали порядка 10 см. Отметим, что получаемые таким способом вертикальные профили однородны, поскольку измерения производятся одним набором датчиков с одинаковой точностью во всем столбе воды. Временные ряды вертикальных профилей удобно графически представлять в виде диаграмм в координатах времени (по оси X) и гидростатического давления (по оси Y), как будет показано ниже.

На опытный образец зонда профилера Винчи, используемый для исследований в Черном море, установлены датчики: электропроводности, температуры и давления RBRconcerto C.T.D++ (RBR, Канада) с флуориметром Seapoint Chlorophyll Fluorometer (Seapoint, США), растворенного кислорода Oxugen Optode 4831F (Aanderaa Data Instruments, Норвегия), а также подводный квантовый датчик фотосинтетически активной радиации LI-192 Underwater Quantum Sensor (LiCor, США). Экспериментальные исследования с помощью зонда-профилера Винчи были проведены на Полигоне «Геленджик» ИОРАН с 22 по 27 сентября 2022 г. Место испытаний находилось на траверзе Голубой бухты в точке 44°34.07' с.ш. и 37°58.33' в.д. (глубина станции составила примерно 25 м). Подтверждения выполнения циклов погружения/всплытия приходили в Telegram бот. Однако координаты места по сигналам GPS определялись не точно по причине работы систем РЭБ, поэтому всплытия аппарата контролировались визуально с МНИС «Ашамба». Погодные условия в ходе испытаний были нестабильными: временами наблюдалось сильное прибрежное течение, а высота волн могла достигать 1.2-1.5 м в периоды усиления ветра.

В ходе эксперимента в Черном море в сентябре 2024 г. была подтверждена надежная работа оборудования связи и оперативной передачи данных океанологических измерений с аппарата Винчи. Проведение океанологических измерений было запрограммировано только при погружении аппарата.

Примеры наблюдений за ФАР и температурой воды показаны на рис. 1 и 2, соответственно. Поток фотосинтетических фотонов, проникающих в водную толщу зависит главным образом, от высоты солнца, облачности и поглощения в воде. На рис. 1 четко выделяются зоны низкой освещенности. Граница ФАР < 20 мкмоль $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$ подвержена сильным внутри-суточным колебаниям не только регулярным в суточном ходе, но и случайным в дневное время,

связанным с изменчивостью облачного покрова.

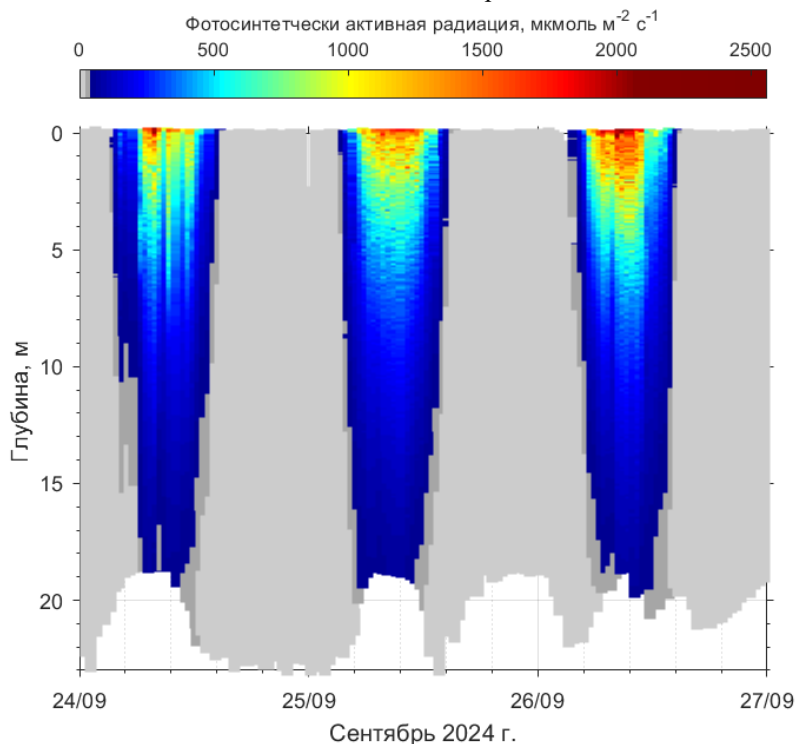


Рисунок 1 - Временная изменчивость фотосинтетически активной радиации (ФАР) в водной толще на заякоренной станции «Винчи» в акватории Полигона «Геленджик» 24-26 сентября 2024 г. Светло-серым цветом показаны значения ФАР $< 20 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$.

В целом, исследования продемонстрировали преимущества предложенного подхода к мониторингу морской среды с помощью привязного зонда-профилемера Винчи:

- минимизируется риск потери оборудования за счет применения заякоренной буйковой системы;
- автоматизированный мониторинг проводится непрерывно в заданном районе;
- аппарат работает в оперативном режиме – передача данных измерений и получение команд управления осуществляются в режиме реального времени;
- аппарат адаптирован к конкретным задачам – состав измерительных

датчиков на носителе можно менять в зависимости от задачи.

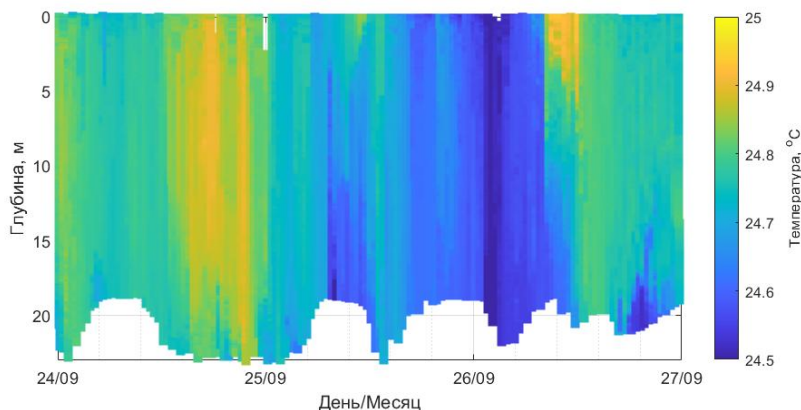


Рисунок 1 - Временная изменчивость температуры воды в водной толще на заякоренной станции «Винчи» в акватории Полигона «Геленджик» 24-26 сентября 2024 г.

В дальнейшем, наряду с мультипараметрическими измерениями с помощью зонда-профилера Винчи было бы важно провести синхронизированные натурные наблюдения за биотой рядом со станцией Винчи на горизонтах с контрастными уровнями освещенности вблизи верхней границы мезофотической зоны, в ее центре и у нижней границы, соответствующим средним за период наблюдений значениям 10%, 1% и 0,1% от уровня ФАР на поверхности моря.

Работа выполнена по теме госзадания № FMWE-2024-0024.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ostrovskii A.G., et al. Automated tethered profiler for hydrophysical and bio-optical measurements in the Black Sea carbon observational site // *Journal of Marine Science and Engineering*. - 2022. - V. 10. - P. 322. DOI: 10.3390/jmse10030322.
2. Швоев Д.А. и др. Автономный зонд-профилимер Винчи // *Подводные исследования и робототехника*, 2024. – 2024. № 4 (50) – С. 67-76 – DOI: 10.37102/1992-4429_2024_50_04_0710.29006/978-5-6045110-8-4-2023.

УДК 534.222.2; 551.463.2

ИССЛЕДОВАНИЯ РАССЕЙНИЯ ЗВУКА НА ПОДВОДНЫХ ПУЗЫРЬКОВЫХ ФАКЕЛАХ В ЯПОНСКОМ МОРЕ

Стороженко А.В.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО
РАН, Балтийская 43, 690041, г. Владивосток, 8(423)237-49-13,
storozhenko_and@poi.dvo.ru*

RESEARCHES OF SOUND SCATTERING ON UNDER WATER GAS FLARES IN THE SEA OF JAPAN

Storozhenko A.V.

*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of Russian
Academy of Sciences, 43, Baltiyskaya Street, Vladivostok, 690041, Russia.*

Представлены исследования рассеяния звука в подводных газовых факелах, обнаруженных на шельфе Японского моря. Теоретические модели позволили провести оценки концентрации газа в пузырьках, образующих газовые факелы, а также оценить общее количество газа, выходящее из обнаруженных газовых факелов.

Paper presents researches of sound scattering on gas flares, discovered on the shelf of the Sea of Japan. The theoretical models made it possible to estimate the concentration of gas in the bubbles forming gas flares, as well as to estimate the total amount of gas escaping from the discovered gas flares.

Ключевые слова: рассеяние звука, морская вода, пузырьки, акустическая спектроскопия, подводный газовый факел

Key words: sound scattering, sea water, bubbles, acoustic spectrometry, underwater gas flare

В 1980-х гг. были открыты новые объекты в океане – подводные газовые факелы (ГФ), образованные газовыми пузырьками, выходящими из дна моря. ГФ повсеместно встречаются в районах выброса газов вблизи подводных грязевых вулканических

образований, подводных газовых и нефтяных месторождений, подводных залежей газогидратов и др. Большую роль для обнаружения ГФ и изучения их структуры играют акустические методы зондирования на основе обратного рассеяния звука [1, 2].

Цель настоящей работы – анализ результатов экспериментальных исследований рассеяния звука на границе шельфа Японского моря, и с учетом теоретических моделей проведение оценки концентрации газа в газовых факелах, обнаруженных на границе шельфа.

На практике коэффициент рассеяния звука m_V определяется выражением, учитывающим функцию распределения по размерам $g(R)$ и сечение рассеяния $\sigma(R, \omega)$ одиночным включением [3]:

$$m_V = \int_{R_{\min}}^{R_{\max}} \sigma(R, \omega) g(R) dR = m_V|_{\text{exp}} \approx (2 / \pi \theta^2 c \tau) (P_{bs} / P_i)^2,$$

где $I_{bs} \sim P_{bs}^2$, $I_i \sim P_i^2$ – интенсивности падающего на неоднородность и рассеянного звука соответственно, при этом P_i и P_{bs} – соответственно, амплитуды падающей на объем V волны и рассеянной в обратном направлении, V – импульсный рассеивающий объем среды, $V = \pi r^2 \theta^2 c \tau / 2$, θ – ширина диаграммы направленности, c – скорость звука, τ – длина импульса. В случае, когда наблюдается рассеяние на пузырьках, можно определить функцию распределения пузырьков по размерам $g(R)$, связанную с количеством пузырьков в единице объема (концентрацией пузырьков)

$N = \int_0^\infty g(R) dR$, а также объемную концентрацию газа в пузырьках x [3]. Функция распределения пузырьков по размерам $g(R)$ может быть найдена по частотной зависимости коэффициента рассеяния звука $m_V(\omega)$ в предположении, что основной вклад в рассеяние звука вносят резонансные пузырьки, радиус которых связан с частотой по формуле Миннерта $R(\omega) = \sqrt{3\gamma P_0(1 + 0.1z)} / \rho / \omega$, где P_0 – гидростатическое давление на поверхности моря, z – глубина в метрах, ρ – плотность воды, γ – постоянная адиабаты газа внутри пузырька, для двухатомного газа $\gamma \approx 1.4$.

В заливе Петра Великого Японского моря впервые ГФ были зарегистрированы с использованием рассеяния звука на частоте 12.4 ГГц в рамках экспедиции НИС "Профессор Гагаринский" (рейс № 29,

2000 г.). В экспедиции 2022 (рейс №83, 20 – 23. 10.2022 г.) было вновь проведено исследование акустическими методами ГФ в этом районе шельфа. На рис. 1 представлена типичное изображение ГФ методом акустического рассеяния на частоте 12,4 кГц.

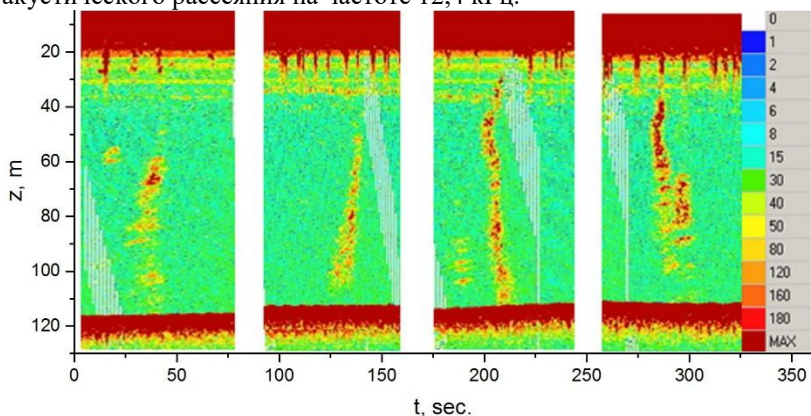


Рис. 1. Акустическое изображение одиночных ГФ на частоте 12.4 кГц в заливе Петра Великого Японского моря в период 20 – 23. 10.2022 г.

Наблюдалось большое количество факелов, располагавшихся достаточно компактно. На рис. 2 представлена схема расположения подводных газовых факелов, зарегистрированных с помощью рассеяния звука на частоте 12.4 кГц в экспедициях на НИС "Профессор Гагаринский" 20-23.10.2022 г. а также на частоте 200 кГц, полученные в период 24-26.10.2024.

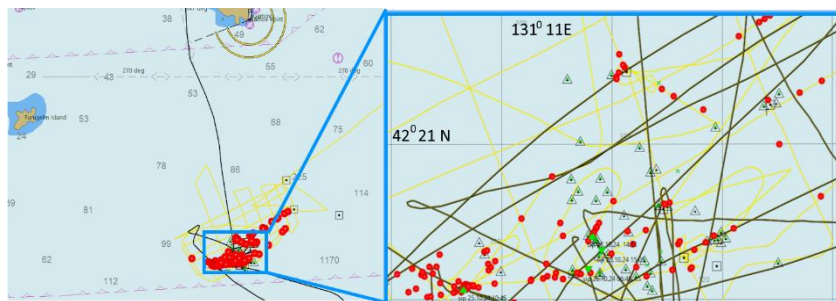


Рис. 2. Схема расположения подводных газовых факелов, зарегистрированных экспедициях с помощью рассеяния звука на частоте 12.4 кГц (красные кружки) 20 – 23. 10.2022 г. и на частоте 200 кГц 24-26.10.2024 (зеленые треугольники).

Таким образом, в указанном районе пузырьковые факелы наблюдаются в течение длительного периода 2000-2024. Можно оценить их вклад в долю переноса газа через поверхность океана в атмосферу. Было показано [3], что основной вклад вблизи дна на глубинах ~100 м в результаты вносит резонансное рассеяние, позволяющее делать оценки коэффициента рассеяния звука, количества пузырьков и т.д. при зондировании на частоте 12.4 кГц.

В экспедиции в ноябре 2022 также производились газо-геохимические исследования проб воды с разных глубин. Были выявлены аномальные газо-химические поля метана (с концентрациями более 40 нмоль/л против фоновых 4-5 нмоль/л) в придонном водном слое в районе факела [4]. Таким образом можно предположить, что основу содержимого пузырьков составляет метан и получить оценку массы выходящего метана в ГФ. Было показано [3], что производительность одиночного ГФ около 0.02-0.05 л/с. В сутки выброс метана может составить величину 42.3 м³ или 30 кг. Учитывая, что регистрация проводилась вдоль трассы протяженностью около 1 км с поперечным захватом зондирования около 20 м, можно оценить выход метана в районе зарегистрированных ГФ, приходящийся на 1 км², примерно величиной 2100 м³ / сутки*км² или 1.5 т сутки*км².

Работа выполнена в рамках госзадания FWMM-2024-0015, рег. № 124022100075-6

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Farmer D, Vagle S. Wave Induced Bubble Clouds in the Upper Ocean // Journ. Geophys. Res. 2010. V. 115. P. C12054.
 - 2 Саломатин А.С., Юсупов В.И., Верещагина О.Ф., Черных Д.В. Акустическая оценка концентрации метана в водной толще в областях его пузырьковой разгрузки // Акуст. журн. 2014. Т. 60. № 6. С. 636-644
 - 3 В.А. Буланов, И.В. Корсков, А.В. Стороженко Рассеяние звука и изменчивость структуры верхнего слоя в Японском и Охотском море/ Подводные исследования и робототехника. 2024, № 3, с. 83-96, DOI: 10.37102/1992-4429_2024_49_03_08
 - 4 A.V. Yatsuk, [and others] Gas-Geochemical Studies of the Outer Water Area of Peter the Great Bay (Sea of Japan) on the R/V Professor Gagarinskiy, Cruise 83, 2024, Oceanology 64(4), 641-643
- 5

**ПРОТОКОЛ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ
БОЛЬШОГО ОБЪЕМА ДЛЯ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОЙ
ОКЕАНОЛОГИИ**

Кочетов О.Ю.

*Институт оке
анологии им. П. П. Шишова РАН, г. 117997, Москва, Нахимовский
проспект, д.36, +7 916 129 40 44, ok@noiselab.ru*

**HIGH-VOLUME WIRELESS DATA TRANSMISSION PROTOCOL FOR
OPERATIONAL OCEANOLOGY**

Kochetov O.Y.

*Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences,
36 Nakhimovsky Prosp., Moscow 117997, Russia*

Рассмотрен подход к решению задачи быстрого обмена массивами данных большого объема, с помощью специализированного протокола, предназначенного для работы в сетях сотовой связи в морских условиях, на примере зонда-профилемера Winchi.

The report considers an approach to solving the problem of fast transmission of large-volume data arrays from Winchi profilers using a specialized protocol designed for operation in cellular networks in marine conditions.

Ключевые слова: беспроводная связь, передача массивов данных, оперативная океанология

Key words: wireless communications, high-volume data arrays transfer, operational oceanology

Растущая актуальность задач оперативной океанологии выдвигает требования по передаче массивов данных большого объема порядка нескольких десятков килобайт от автономных морских систем [1].

Современные технологии связи позволяют в некоторых случаях использовать для решения этой задачи недорогие и эффективные средства, например, сотовую сеть передачи данных GSM/LTE. Хотя

инфраструктура сотовой сети - преимущественно наземная, качественная и высокоскоростная связь доступна во многих прибрежных морских акваториях, не говоря уже о внутренних водоемах. Так, по состоянию на 2024 г. сотовая связь устойчиво работала в прибрежной зоне Краснодарского края в Черном море (до 5 км от берега), где проводятся исследования и эксперименты ИО РАН, а также в акватории бухты Витязь, в заливе Посыет Японского моря, где проводятся эксперименты ТОИ ДВО РАН. В обоих районах в 2024 г. проводились работы с применением автономного подводного аппарата Winchi [2], в котором сотовая связь применяется для передачи телеметрии и накопленных массивов данных океанологических измерений.

Использование для передачи данных технических средств сотовой связи дает возможность получить на борту автономного аппарата прямой двусторонний доступ к глобальной информационной сети Интернет. Это открывает возможность получать с минимальными задержками данные от находящихся на поверхности морских систем, а также управлять их работой из любой точки, где есть доступ к сети. Альтернативой сотовой связи может стать лишь спутниковая, имеющая неоспоримое преимущество в области покрытия, например, сеть Iridium. Но спутниковая связь, во-первых, плохо подходит для передачи данных большого объема, поскольку характерная длина передаваемого через спутник сообщения составляет около 300 байт, максимально возможная скорость составляет единицы кбит/сек [3], а во-вторых, спутниковая связь значительно дороже, как по стоимости оборудования, так и по стоимости трафика. Поэтому, спутниковую связь целесообразно применять для передачи коротких сообщений, содержащих наиболее ценные данные в тех районах, где недоступна сотовая связь.

Исходя из этих соображений, в качестве базового средства беспроводной передачи данных для аппарата Winchi был выбран GSM/LTE модем QUECTEL EC-21. Отличительная особенность этого модема – возможность перехода в так называемый «прозрачный» режим передачи данных. В этом режиме, после установления соединения, все данные, поступающие на вход модема, отправляются в сеть, а все входящие из сети данные без обработки поступают на выход модема. Благодаря этому достигается максимально возможная скорость передачи, в случае Winchi она составляет 115200 бод.

Однако задача передачи данных не решается одним лишь выбором оборудования. Чтобы передать данные, требуется также наличие внешнего сервиса, который эти данные принимает и

сохраняет. Такой сервис должен однозначно определять, какие данные и откуда приходят, как следует с этими данными поступить. Для этих целей служит протокол связи верхнего, прикладного уровня по модели OSI [4].

Существующие протоколы, позволяющие передавать файлы с данными, такие как HTTP, FTP, RSYNC, SMTP и т.п. рассчитаны на устойчивые надежные каналы связи и предполагают работу без жестких ограничений на время сеанса связи. Однако, как показали первые же эксперименты по отправке массивов данных с борта Winchi, в условиях моря сотовая связь работает вовсе не так же надежно, как на суше. Так, несмотря на то что практически при каждом всплытии аппарата, удавалось установить соединение с сетью, канал связи не всегда был стабильным до окончания сеанса. В условиях сильного морского волнения, после отправки первых пакетов данных, соединение часто терялось и могло не восстановиться до окончания времени, выделенного на передачу данных. Поэтому возникла необходимость в разработке специализированного протокола, дополнительно обеспечивающего целостность передаваемых данных в случае нестабильного канала связи и рассчитанного на работу с жестким ограничением времени сеанса.

Были сформулированы требования для такого протокола:

- протокол рассчитан на двусторонний асинхронный неустойчивый канал связи,
- протокол поддерживает передачу данных любого типа и формата,
- данные передаются пакетами произвольной длины, с ограничением максимального размера,
- каждый пакет данных снабжен контрольной суммой,
- повторные передачи одних и тех же данных должны быть минимизированы, в идеале – отсутствовать совсем,
- каждый пакет данных должен включать заголовок с метаданными, позволяющими идентифицировать отправивший его прибор, а также тип и параметры содержащихся в пакете данных.

Исходя из этих требований и результатов первых экспериментов, была разработана нижеследующая схема сеанса связи:

- 1) После установки соединения передается короткий пакет с телеметрией, что обеспечивает высокую вероятность получения данных о состоянии прибора при его выходе на поверхность.
- 2) Вторым пакетом отправляется набор наиболее важных измерений, имеющий низкое разрешение, но дающий общее представление о характере измеренных прибором величин.
- 3) Далее, вплоть до окончания сеанса связи прибор передает

накопленные файлы данных. Сначала передаются результаты измерений, затем журнальный файл, по которому можно восстановить все события, произошедшие от начала текущего цикла до момента начала сеанса связи. Наконец, отправляются недостающие части файлов, которые передавались во время прошлых сеансов, если связь прерывалась.

В соответствии с требованиями к протоколу каждый пакет данных включает в себя заголовок, в котором указан идентификатор прибора, тип содержащихся в пакете данных (телеметрия, измерения низкого разрешения, файл или служебная информация) и длина блока данных. Для файлов в заголовке указывается имя файла, полная длина файла и смещение содержимого пакета относительно начала файла. Это позволяет, даже получив только один фрагмент файла, зарезервировать в системе хранения данных необходимое для всего файла пространство, корректно разместить в нем полученный фрагмент и понять, каких частей файла еще не хватает.

Контрольная сумма, хоть и может показаться на первый взгляд излишней, помимо основной своей функции служит признаком того, что пакет данных полностью соответствует протоколу. Это важно при работе с открытым каналом связи, где к принимающему порту сервиса может подключиться кто угодно и попытаться отправить произвольные данные.

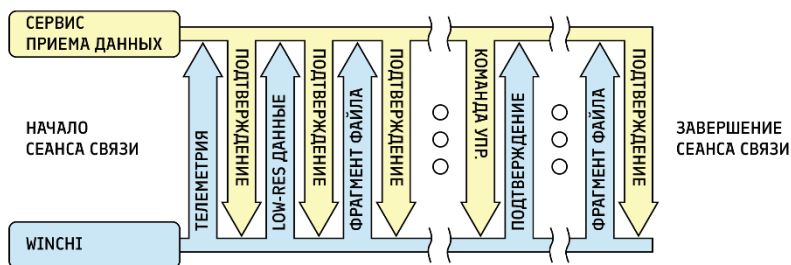


Рис. 1. Схематическое представление обмена сообщениями автоматического зонда-профилографа Winchi и сервиса приема данных во время сеанса связи

Благодаря тому, что канал связи двусторонний, сервис приема и хранения данных сообщает прибору об успешно полученных пакетах. Это необходимо потому, что при работе в режиме «прозрачного» соединения модем никак не сообщает прибору о том, что данные успешно переданы. Подтверждения со стороны сервиса позволяют

отслеживать на борту, какая часть данных уже передана, что требуется повторить, а что придется передать в следующем сеансе связи. Эта же схема работает и в обратную сторону, когда сервис передает прибору управляющие команды. Команда передается в ответ на любой поступивший от Winchi пакет данных до тех пор, пока от прибора не будет получено подтверждения приема команды. Только затем передается следующая команда. Схематически сеанс связи с Winchi представлен на рис. 1.

После внедрения нового протокола удалось сократить время сеанса связи Winchi, по сравнению с первыми экспериментами по передаче данных почти на порядок: с 10 до 1-2 минут. Еще более важно повышение надежности: даже в самых неблагоприятных условиях, поднявшийся на поверхность прибор имеет шанс успеть передать сообщение о своем состоянии и самые важные данные, а при улучшении условий постепенно отправляет все то, что не прошло во время предыдущих сеансов связи. Таким образом, как правило, к концу миссии от прибора удастся получить полный набор измерений и журнальных файлов.

Работа выполнена по теме госзадания FMWE-2024-0024.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зеленко, А. А. Морские наблюдательные системы как составная часть оперативной океанологии (обзор) / А. А. Зеленко, Ю. Д. Реснянский // Метеорология и гидрология. – 2018. – № 12. – С. 5-30. – EDN VOGRMU.
2. Швоев Д. А., Кочетов О. Ю., Волков С. В., Островский А. Г. Автономный зонд-профилемер «Винчи» // Подводные исследования и робототехника. – 2024. - № 4 (50) – С. 67-77. EDN UCUGWU
3. Prior-Jones M. Satellite communications systems buyers' guide //British Antarctic Survey. – 2008.
4. Day J. D., Zimmermann H. The OSI reference model //Proceedings of the IEEE. – 1983. – Т. 71. – №. 12. – С. 1334-1340.

РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УКБ АНТЕННЫ

Носов А. В., Тихонова Н.Ф.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Москва, 117997, Россия, E-mail: a_v_nos@mail.ru*

EXPANDING THE CAPABILITIES OF THE USBL ANTENNA

Nosov A.V., Tikhonova N.F.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow,
117997, Russia E-mail: a_v_nos@mail.ru*

В статье описывается способ обработки информации, поступающей от приемников гидроакустической антенны с ультракороткой базой, который позволяет избежать неопределенности в оценке направления прихода звуковой волны, причем без вычисления полной разности фаз между приемниками, включая целое количество длин волн, и без использования сложных сигналов для предварительного измерения задержек. Работа может быть полезной для специалистов, разрабатывающих новые системы аппаратного сопровождения океанологических и прикладных навигационных работ.

The article describes a method for processing information coming from sonar antenna receivers with an ultra short base line, which avoids uncertainty in estimating the direction of arrival of a sound wave, without calculating the total phase difference between the receivers, including a whole number of wavelengths, and without using complex signals to pre-measure delays. The work may be useful for specialists developing new hardware support systems for oceanological and applied navigation work.

Ключевые слова: акустическая навигация, ультракороткая база, определение направления

Keywords: acoustic navigation, ultra-short baseline, direction finding

Системы акустической навигации с ультракороткой базой получили широкое распространение в силу двух основных свойств – отсутствия необходимости постановки донных маяков, используемых системами с длинной базой, и относительно небольшой размер приемной судовой антенны, по сравнению с системами с короткой

базой. Принцип действия систем с УКБ основан на использовании нескольких разнесенных приемных элементов, анализе принятых ими сигналов и определении направления прихода акустической волны, которое после учета параметров собственной ориентации антенны и времени распространения звука между судовой антенной и ответчиком пересчитывается в координаты маяка-ответчика. Предлагается новый способ определения направления прихода звукового сигнала, который использует анализ фаз при разнесении приемников на значительное расстояние без вычисления полной фазы (без определения целого числа длин волн). Принцип состоит в выборе такого направления из числа заранее определенных возможных, которое обеспечивает минимальный отклик антенны с этого направления. Способ поиска направления по минимуму сигнала хорошо известен в радиотехнике, путем точной настройки фазированной антенны по частоте и дистанциям между приемниками с последующим механическим сканированием пространства. При этом направление на источник выбирается тогда, когда сигнал в этом направлении минимален, а с других уверенно регистрируется. В акустике оказывается возможным одновременная регистрация сигналов на заданной частоте по нескольким каналам с последующей цифровой обработкой данных, по сути реализующей алгоритм точной аппаратной настройки антенны с заданного направления на минимум отклика.

Для проверки данного метода была разработана программа и произведено численное моделирование явления. Программа предназначена для анализа свойств приемных антенн, имеющих центрально-симметричное расположение приемников, с возможностью менять их количество, частоту звука, размер антенны и уровень шума на приемниках относительно уровня сигнала. Для анализа влияния шума предполагалось, что шум на приемниках не коррелирован и имеет равномерное распределение вероятности амплитуды на единичном интервале с заданным весом. Результаты доступны в работе [1].

Свойства антенны исследовались с помощью сравнения заданного направления прихода сигналов с найденным по предлагаемому методу. Выбор заданного направления и найденного определялся проекциями падающего радиус – вектора звуковой волны на плоскость антенны по двум осям. Таким образом, при равномерном шаге проекций каждой точке на области плоскости антенны, ограниченной окружностью с радиусом, равным длине радиус-вектора падающей волны, однозначно соответствовало некоторое

направление, которому соответствует азимут и угол падения

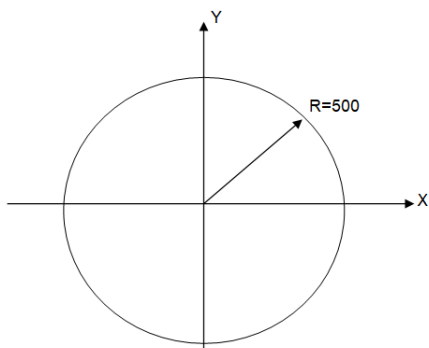


Рис.1 Фазовое пространство направлений.
Модуль вектора падающей волны равен 500 у. е.

Каждая точка внутри круга соответствует определенному направлению прихода звуковой волны, которые отличаются углом падения и азимутом. Точки на окружности соответствуют приходу лучей в плоскости чертежа, точки внутри круга – наклонным падениям.

Для расчета фазовых соотношений была составлена процедура вычисления разности фаз в точках приема, которая использовала координаты точек приема $(X1, Y1, X2, Y2)$, угол падения звука на плоскость антенны θ , азимут горизонтальной проекции падающей волны α , а также частоту звука (длину волны λ):

$$DeFi = F(X1, Y1, X2, Y2, \theta, \alpha, \lambda) \quad (1)$$

После выбора конфигурации приемной антенны (количества элементов, диаметр образующей окружности, частоты звука) производится расчет и составляется массив попарных разностей фаз между приемниками для выбранных пар. Реально в дальнейших расчетах используются и, соответственно, запоминаются только квадратурные компоненты полных разностей фаз:

$$DF[X, Y][I].S = \sin(DeFi(X1_i, Y1_i, X2_i, Y2_i, TETA_{XY}, ALPHA_{XY}, \lambda))$$

$$DF[X, Y][I].C = \cos(DeFi(X1_i, Y1_i, X2_i, Y2_i, TETA_{XY}, ALPHA_{XY}, \lambda)) \quad (2)$$

Расчет производится для всех возможных пар приемников многоэлементной антенны. Результат для каждого направления сравнивается с измеренным в реальности путем вычисления суммы

модулей синусов разностных углов по стандартной тригонометрической формуле. Метод основан на выборе направления из заданного набора заранее определенных возможностей. Критерием выбора является величина отклика антенны на сигнал в условиях достаточного отношения сигнал/шум. Оптимальным направлением является такое, которое обеспечивает минимум отклика.

Этот метод определения направления прихода звуковой волны применим тогда, когда возможен точный расчет разности фаз сигналов с разных элементов антенны. То есть при разработке аппаратной части следует обеспечить отсутствие акустической связи по элементам конструкции, искажение фронта волны внутри антенны и т.д.

Вместе с тем метод снимает ограничение по верхней границе частотного диапазона и позволяет оптимизировать систему в зависимости от приоритетной цели – повышение точности с использованием более коротких волн или обеспечение надежности и дальности на низких частотах.

Был предложен способ повышения надежности оценки направления в условиях окружающих шумов путем использования двух или более частот.

Методом численного моделирования подтверждена целесообразность использования антенны, состоящей из 7 одинаковых приемников, расположенных на плоскости в вершинах правильного многоугольника [1].

Была найдена связь между размером антенны и длиной волны звука, позволяющее оптимизировать соотношение точности и помехоустойчивости приема.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0024). Численное моделирование частично выполнялось за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-17-00156).

ЛИТЕРАТУРА

1. Носов А.В., Орлов А.Г., Мурашов А.С., Тихонова Н.Ф. Использование антенны с ультракороткой базой без определения полных фаз / Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований № 1, 2022. doi: 10.17513/mjphi.13346

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Алескерова А.А.	326	Глитко О.В.	305
Алисолтанов А.А.	238	Глухов В.А.	305
Амбросимов А.К.	115,120,177	Глуховец Д.И.	56, 166, 189
Ананьев Р.А.	245	Гольдин Ю.А.	56
Анциферов М.Ю.	252	Горбацкий В.В.	333
Аракелян Е.М.	139	Гордеева Е.А.	281
Артамонов Ю.В.	51	Григорьев А.В.	333
Артемьев В.А.	166	Губанишев М.А.	252
Арутюнян Д.А.	101,104	Гузевич С.Н.	288
Багаев А.В.	322	Гуров К. И.	256,272
Барыкин А.А.	238	Гурова Ю. С.	256,272
Бахмутов В.Ю.	281	Гусев А.В.	92
Белоконь А.Ю.	322	Давидович О. Р.	328
Бондаренко А. Л.	60, 67	Двоглазова Н. В.	159
Босин А.А.	215	Демьшев С. Г.	20
Бреховских А. Л.	259	Дивинский Б.В.	333
Буданов Л. М.	266,275	Дмитревский Н.Н.	245
Будников А.А.	230	Дорохов Д. В.	275
Буланов А.В.	108,163	Дубина В.А.	16
Булыгин А.М.	80, 84	Дудков И.Ю.	275
Гаревских В.И.	92	Дымова О. А.	20,112
Ванкевич Р.Е.	202	Евсенко Е. И.	259
Вареник А. В.	272	Евстигнеева Н. А.	20
Веремьев В.И.	333	Егоров А.В.	217
Вишнев О.Г.	80	Егорова В.М.	36
Владимиров И.Ю.	24	Елкин Д. Н.	28,135
Володин В.Д.	189	Ермошкин А.В.	43
Воронцов А.А.	80, 84	Жамойда В. А.	267, 275
Вязилов Е.Д.	112	Жмур В. В.	101,104,139
Вязилова Н.А.	142	Зацепин А. Г.	28,131,135,314,
Гайский П.В.	43		333,341
Гаревских Г.П.	170	Здоровеннов Р.Э.	206
Герасимов В. В.	131,135	Зимин А. В.	40, 43, 285
Гиппиус Ф.Н.	336	Злобина Н.В.	300

Зорин А.М.	154	Лискин В.А.	292, 301
Зубов А.Г.	40	Малахова Т.В.	230
Ильинский Д.А.	230, 262	Манилюк Ю.В.	322
Казаков Д.А.	112,328	Маркова Н.В.	112
Казаков Д.В.	112	Медведев Е. В.	256,272
Кальпа В.А.	322	Медведев И.П.	185,238
Кандауров А.А.	131	Мельников В.А.	177
Касаткин С.Б.	300	Мещанкина М.Ю.	238
Клюев М.С.	259	Миронюк С.Г.	221,225
Ковалев Г.А.	115,120,125,177	Мочнова Л.П.	47
Коваленко В.В.	309,333	Мурзакова Ю.В.	314
Ковачев С.А.	217,221,225, 241	Мухин А.А.	238
Козлов И.Е.	40, 43	Мысленков С.А.	333
Колесник А.Н.	215	Неевин И. А.	267
Колесник О.Н.	215	Носов А. В.	354
КОЛЛАБОРАЦИЯ ВАИКАЛ	95	Орехова Н. А.	256,272
Кононов М. В.	259	Островский А.Г.	333, 341
Копышов И.О.	40, 43	Павлов М.И.	40, 328
Коржуев В. А.	40, 328	Павлова М.А.	166
Костенич А.В.	281	Перескоков А.И.	12
Кочетов О.Ю.	341, 349	Пивоваров А.А.	16
Кошелева А.В.	16	Подгибайлов Е.А.	193
Кременецкий В.В.	333	Подымов И.С.	234
Крылов А.А.	185,217,221,225	Подымов О.И.	314
Крыль М.В.	193	Подымова Т.М.	234
Кубряков А.А.	326, 333	Попов А.П.	181
Кудинов О.Б.	193, 296	Попов О.Е.	127
Куклев С.Б.	333	Пронин А.А.	292
Куликов М.Е.	185	Пуганс В.А.	241
Кульшин Д.И.	43	Ракитин И. Я.	259
Курдин М.Г.	248	Рогальский Л.Ю.	230
Латушкин А.А.	51	Родионов А.А.	202
Лебедев К.В.	181	Росляков А.Г.	245
Левченко Д.Г.	318	Ростовцева В. В.	173
Либина Н.В.4	217,221,225, 241	Румянцева А. К.	275
Липинская Н.А.	170	Руссак Ю.С.	292, 301

Рябов Е.В.	95	Тихонова Н.Ф.	301,354
Рябокоть Д.А.	193	Толстикова А.В.	206
Рябчук Д. В.	267	Трофимов А.Г.	252
Сажнева А.Э.	259	Трусенкова О.О.	16
Салюк П.А.	170	Успенская Т.Ю.	248
Самченко А.Н.	16	Фатеев Д. С.	267, 275
Свергун Е. И.	43, 285,305	Федирко А.В.	51
Сергеев А. Ю.	267	Федотов Г.А.	150
Сергеев Д.А.	131	Филиюшкин Б.Н.	181
Серебряный А.Н.	127	Химченко Е.Е.	127, 198
Серикова В. С.	285	Чухарев А.М.	112,328
Сидорова А.Н.	92	Чхетиани О.Г.	139
Сильвестрова К.П.	314	Шадрина Д.А.	248
Скрипалева Е.А.	51	Шаратунова М.В.	47
Скиба Ю.Н.	210	Шатохин М.В.	36
Соколов А.Н.	32, 146	Шатравин А.В.	198
Ставров К.Г.	281	Швоев Д.А.	341
Станичный С.В.	326	Шпилев Н.Н.	202
Стороженко А.В.	345	Шрейдер А.А.	259
Телегин В.А.	333	Щевьев В. А.	72, 76
Тимофеева А.Б.	47		

Научное издание
Сборник

ISBN 978-5-6051054-5-9

DOI 10.29006/978-5-6051054-5-9-2025

«Современные методы и средства океанологических исследований»
(МСОИ-2025) /

Материалы XIX Международной научно-технической конференции.

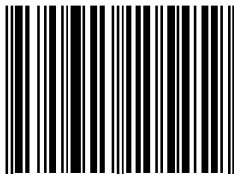
Том I.

М.: Издательство Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН,
2025. – 361 с.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН тема,
FMWE-2024-0024. Аналитические исследования выполнены при
поддержке РФФ (проект № 23-17-00156).

Тираж 50 экз.

ISBN 978-5-6051054-5-9



9 785605 105459 >