

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ им. П.П. Ширшова РАН
МГТУ им. Н.Э.Баумана**

**XVII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ**



**«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА
ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ»
(МСОИ-2021)**

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ
В двух томах
Том I**

**МОСКВА
ИОРАН 2021**

На первой странице обложки представлен
Прозрачномер ПУМ-200 с датчиком флуоресценции фирмы SeaBird.

УДК 551.46.07
С232
ББК 26.221

«Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2021) / Материалы XVII международной научно-технической конференции. Том I. – М.: Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, 2021. 290 с.

ISBN 978-5-6045110-1-5.

DOI: 10.29006/978-5-6045110-1-5

Книга содержит материалы конференции МСОИ-2021. 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, методы и средства морских геологических, геофизических и ресурсных исследований.

Доклады опубликованы в авторской редакции.

Редактирование: Н.А. Римский-Корсаков, Н.Ф. Тихонова

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН на 2021 год (темы №0128-2021-0010, №0128-2021-0011).

“Modern methods and means of oceanological research”. Proceedings of the XVII International Conference MSOI-2021, Vol. I. – Moscow: Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 2021. 290 p.

This publication contains reports of the MSOI-2019 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.

In volume I, modern methods and means of hydro physical research are considered, as well as methods and means of marine geological, geophysical and resource research.

С232
ББК 26.221
ISBN 978-5-6045110-1-5

©ИО РАН 2021

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ МСОИ-2021

- | | | |
|----|-----------------------|---|
| 1 | Римский-Корсаков Н.А. | д.т.н., заместитель директора по морской технике ИО РАН, председатель |
| 2 | Нигматулин Р.И. | академик РАН, научный руководитель ИО РАН, сопредседатель |
| 3 | Акуличев В.А. | академик РАН |
| 4 | Лобковский Л.И. | академик РАН, научный руководитель геологического направления ИОРАН |
| 5 | Флинт М.В. | академик РАН, научный руководитель направления «Экология морей и океанов» ИО РАН, |
| 7 | Верещака А.Л. | чл. корр. РАН, руководитель лаборатории ИОРАН |
| 8 | Нейман В.Г. | чл. корр. РАН, главный научный сотрудник ИОРАН |
| 9 | Гулев С.К. | чл.-корр. РАН, руководитель лаборатории ИОРАН |
| 10 | Завьялов П.О. | чл.-корр. РАН, заместитель директора ИО РАН, |
| 11 | Шевченко В.В. | к.г.-м.н. зам. дир. ИО РАН, |
| 12 | Каевицер В.И. | д.т.н, ФИРЭ им. Котельникова РАН |
| 13 | Вельтищев В.В. | д.т.н., зав. кафедрой МГТУ им. Н.Э.Баумана |
| 14 | Вялышев А.И. | д.ф.-м.н., главный научный сотр. ВНИИ ГОЧС МЧС РФ |
| 15 | Сагалевиц А.М. | д.т.н., зав. лаб. ИО РАН, Герой России |
| 16 | Мотыжёв С.В. | д.т.н., руководитель научного направления МГИ, Севастополь |
| 17 | Добролюбов С.А. | чл.-корр. РАН, декан факультета МГУ |
| 18 | Вязилов Е.Д. | д.т.н., зав. лаб. ЦОД ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» Росгидрометцентра, Обнинск |
| 19 | Казеннов А.Н. | Руководитель лаборатории НИЦ «Курчатовский институт» |

ОРГКОМИТЕТ МСОИ-2021

- | | |
|-------------------------|---|
| 1. Соков А.В. | <u>председатель</u> , д.г.н., директор ИОРАН |
| 2. Римский-Корсаков Н.А | <u>зам. председателя</u> , д.т.н., зам. директора ИОРАН |
| 3. Вельтищев В.В. | <u>сопредседатель</u> д.т.н., зав. каф. МГТУ им. Н.Э. Баумана |
| 4. Островский А.Г. | к.г.н., вед.н.с. ИОРАН |
| 5. Мокиевский В.О. | д.б.н., вед.н.с. ИОРАН |
| 6. Глуховец Д.И. | к.ф.-м.н., с.н.с. ИОРАН |
| 7. Егоров А.В. | к.г.-м.н., зав. лабораторией ИОРАН |
| 8. Свиридов С.А. | к.т.н. зав. отделом инф. технологий ИОРАН |
| 9. Метальников А. А. | к.ф.-м.н., с.н.с. ИОРАН |
| 10. Карабашева Э.И. | н.с. ИОРАН |
| 11. Уманская И.А. | глав. спец. отдела информационных технологий |
| 12. 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., вед.инж. Молчанов Б.В., Куликова Т.А., вед.инж. Марин В.М., инж. Белевитнев Я.И., Муравья В.О.

Конференция проводится при финансовой поддержке Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Московского государственного технического университета им.Н.Э.Баумана.

ПАМЯТИ Г.В. СМИРНОВА

Оленин А.Л., Римский-Корсаков Н.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва,
8(499)1247987, nrk@ocean.ru*



Доктор технических наук, профессор, академик РАН Геннадий Васильевич Смирнов на протяжении более 30-ти лет был вдохновителем и активным участником конференции МСОИ, его жизненный путь прервался 19 июля 2020 года

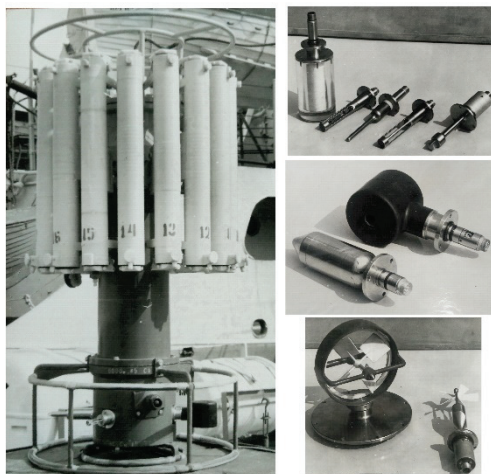
Геннадий Васильевич родился 17 июля 1940 года в с. Петраково Пошехонского района Ярославской области в крестьянской семье.

Окончил Рыбинское ремесленное училище, получил специальность фрезеровщика и был направлен на Морской завод им. Орджоникидзе в г. Севастополь. Был призван в ряды Советской Армии на Тихоокеанский флот, на о. Сахалин, где служил радистом на сторожевом корабле.

Вернувшись из армии, Геннадий Васильевич работал на рыболовном флоте, пройдя путь от матроса до опытного тралмейстера. Море ему нравилось, но ощущая потребность в дальнейшем

образовании, он перешёл на работу в Морской гидрофизический институт, первоначально как лаборант, активно включился в экспедиционную работу. Поступил в Севастопольский приборостроительный институт и окончил его по специальности инженер-электрик по автоматике и телемеханике в 1970 г.

Большую роль в судьбе Геннадия Васильевича сыграл директор МГИ академик Нелепо Борис Алексеевич, который заметил в молодом сотруднике большой потенциал как инженера, ученого и организатора, настойчиво рекомендовав ему научную деятельность. Геннадий Васильевич занимался исследованиями внутренних волн в Океане, защитил диссертацию и стал кандидатом физико-математических наук, был назначен директором Специального конструкторско-технологического бюро МГИ. В последующем, обобщая проведенную работу, он защитил диссертацию на получение степени доктора технических наук.



На рисунке представлены элементы серийной отечественной гидрофизической аппаратуры, созданной под руководством Геннадия Васильевича.

Являясь директором СКТЬ, он смог организовать работу по унификации создаваемой гидрофизической аппаратуры, до того времени разнотипной и неудобной в технологическом отношении, серьезно повысил технологическую и метрологическую культуру производства, результатом чего стала надежная серийная отечественная

гидрофизическая измерительная аппаратура, успешно выдерживающая испытания заказчиками (зонды МГИ и пр).

Проводимая работа была по достоинству отмечена на уровне Академии наук Украинской и АН СССР, Главного управления навигации и океанографии Министерства обороны СССР.

Принимал участие в двух кругосветных и десяти длительных экспедициях в Атлантический, Тихий и Индийский океаны. Им проведены экспериментальные исследования внутренних волн в широком диапазоне пространственных и временных масштабов, создана специальная измерительная аппаратура и методика проведения измерений фундаментального и прикладного назначения. Получен обширный материал в различных районах Тихого, Атлантического и Индийского океанов. Проведенный теоретический анализ и его сопоставление с экспериментальными данными нашли свое отражение в авторской монографии «Экспериментальные исследования внутренних волн в океане».

В 1978 году Геннадий Васильевич перешел на работу в Тихоокеанский Океанологический Институт, в последующем стал заместителем руководителя Дальневосточного отделения, выполнял большой объем научно-организационной работы. В 1990 году избран член-корреспондентом АН СССР, а в 1992 года академиком РАН.

С 1995 года был руководителем Отдела Научного Флота РАН.

С 1997 года заведовал Лабораторией Методологии и технических средств океанологических исследований Института Океанологии им. П.П. Ширшова, принимал непосредственное участие в организации и проведении конференций МСОИ.

В 2005 году, обобщая накопленный опыт фундаментальных и прикладных исследований, в соавторстве с коллегами опубликовал монографию “Океанология: средства и методы океанологических исследований”.

Автор 150 научных работ, в том числе 7 монографий, 1 учебника, 8 авторских свидетельств и 17 патентов на изобретения. Проявил себя как хороший руководитель, умеющий и старающийся организовывать дело на серьезном системном государственном уровне.

Как мудрый наставник, сподвиг в разные годы многих своих коллег и сотрудников по океанологической технике к написанию кандидатских и докторских диссертаций. Был научным руководителем многих диссертантов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

І. ГИДРОФИЗИКА

ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ ТЕЧЕНИЙ МИРОВОГО ОКЕАНА	
Бондаренко А.Л. _____	14
ПРИЧИНА ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕЧЕНИЙ. ГОЛЬФСТРИМ, КУРОСИО И Т. Д.	
Щевьев В. А. _____	18
ВОЛНОВАЯ ПРИРОДА ТЕЧЕНИЙ В МОРЯХ И ОКЕАНАХ	
Щевьев В. А. _____	22
УСВОЕНИЕ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ МОДЕЛЬЮ НЕМО МЕТОДОМ АНСАМБЛЕВОГО ФИЛЬТРА КАЛМАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ	
Степанов В.Н., Реснянский Ю.Д., Струков Б.С., Зеленько А.А. _____	26
РОЛЬ ОКЕАНИЧЕСКИХ ДОЛГОПЕРИОДНЫХ ВОЛН В ФОРМИРОВАНИИ ТЕПЛООВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ, ПОГОДЫ И КЛИМАТА ЗЕМЛИ	
Бондаренко А.Л. _____	31
ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛЯ СКОРОСТИ В ТЕЧЕНИИ ЗА СФЕРОЙ МЕТОДАМИ PIV и ADV	
Стецюк И. В. _____	34
ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ МОРЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ	
Трусенкова О.О., Лобанов В.Б., Примачев Е.В. _____	38
МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВКЛАДА ВЕТРА В МЕЖГОДОВУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОДООБМЕНА МЕЖДУ АТЛАНТИЧЕСКИМ И СЕВЕРНЫМ ЛЕДОВИТЫМ ОКЕАНАМИ	
Лебедев К.В., Филюшкин Б.Н., Щепёткин А.Ф. _____	42
МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВКЛАДА ВЕТРА В МЕЖГОДОВУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АНТАРКТИЧЕСКОГО ЦИРКУМПОЛЯРНОГО ТЕЧЕНИЯ ЮЖНЕЕ АВСТРАЛИИ	
Лебедев К.В. _____	46
ГИДРОЛОГИЯ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД 2019 ГОДА	
Амбросимов А.К. _____	50
ВКЛАД СТОКОВЫХ ВОД РЕКИ ЛЕНЫ В ГИДРОЛОГИЮ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ	
Амбросимов А.К., Ковалев Г.А. _____	54
ПОГРЕШНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ МОРСКОЙ ВОДЫ ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ПРИ НЕКОНТРОЛИРУЕМОЙ ОРИЕНТАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЯ.	
Федотов Г.А. _____	60

О ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНИХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИЛ НА КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ МИРОВОГО ОКЕАНА	
Серых И.В., Сонечкин Д.М.	64
ИЗМЕРЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БПЛА) ДЛЯ ЗАДАЧ ОКЕАНОЛОГИИ: НЕКОТОРЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ	
Кубряков А.А., Лишаев П.Н., Юровский Ю.Ю., Плотников Е.В., Кориненко А.С., Новиков Б.Н., Станичный С.В.	68
ГЕНЕРАЦИЯ И ПОДДЕРЖАНИЕ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ФРОНТАЛЬНЫХ ЗОН В ТОЛЩЕ ВОД ОКЕАНА КОНВЕКЦИЕЙ СОЛЕВЫХ ПАЛЬЦЕВ.	
Перескоков А.И.	70
РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИИ ОТКРЫТЫХ НЕРАВНОВЕСНЫХ ДИССИПАТИВНЫХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ.	
В.А. Соколов.	73
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЛЬТРА ЛАНЦОША ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ ЗОНДА-ПРОФИЛОГРАФА «АКВАЛОГ».	
Подымов О.И., Островский А.Г.	75
МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ В ПОВЕРХНОМ СЛОЕ МРАМОРОГО МОРЯ	
Медведева А.В., Станичный С.В., Алескерова А.А., Василенко Н.В., Кубряков А.А.	79
ОСОБЕННОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ И АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПО ОПТИЧЕСКИМ И РАДИОЛОКАЦИОННЫМ СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ	
Станичный С.В., Кубряков А.А., Медведева А. В., Алескерова А.А., Станичная Р.Р., Василенко Н.В.	82
ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕЧЕНИЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ПРИГЛУБОГО ШЕЛЬФА ЧЕРНОГО МОРЯ, ПО ДАННЫМ СТАЦИОНАРНО ЗАКРЕПЛЕННОГО ADCP	
Химченко Е.Е., Серебряный А.Н., Попов О.Е., Кенигсбергер Г.В.	85
ВЛИЯНИЕ ГЛУБОКОЙ КОНВЕКЦИИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОСТЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	
Новоселова Е.В., Федоров А.М., Белоненко Т.В.	88
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОКУСИРОВАННЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В МЕЛКОМ МОРЕ	
Смирнов И.П., Калинина В.И., Малеханов А.И., Хилько А.И., Сидоров К.А.	91
АВТОНОМНЫЙ ПРОЗРАЧНОМЕР ПУМ-200	
Артемьев В.А., Таскаев В.Р., Григорьев А.В.	95
НЕКОТОРЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЛНОВОДА ПЕКЕРИСА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ.	
Колигаев О.А., Колигаев С.О.	99

КВАЗИ-ИНЕРЦИОННЫЕ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ	
Химченко Е.Е., Островский А.Г., Клювиткин А.А.	105
ВЛИЯНИЕ ПОДВОДНОГО ШУМА НА ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ НА КОГЕРЕНТНУЮ АКУСТИЧЕСКУЮ СВЯЗЬ	
Шатравин А.В.	108
ИЗМЕРЕНИЕ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА КРУТОМ ШЕЛЬФЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ АНТЕННОЙ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ДАТЧИКОВ	
Серебряный А.Н., Попов О.Е., Химченко Е.Е.	111
ОСОБЕННОСТИ ГИДРОФИЗИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И ПЕРЕНОСА ВОД В ЗАЛИВАХ СЕВЕРНОГО ОСТРОВА НОВОЙ ЗЕМЛИ	
Недоспасов А.А., Поярков С.Г., Очередник В.В.	115
ОСОБЕННОСТИ ГИДРОФИЗИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И ПЕРЕНОСА ВОД В ЗАЛИВАХ ЮЖНОГО ОСТРОВА АРХИПЕЛАГА НОВАЯ ЗЕМЛЯ	
Недоспасов А.А., Поярков С.Г.	120
НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСТАНОВКИ ТЕРМОКОС В ЗАЛИВЕ БЛАГОПОЛУЧИЯ (НОВАЯ ЗЕМЛЯ)	
Очередник В.В., Кременецкий В.В., Медведев И.П., Недоспасов А.А., Поярков С.Г.	124
ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПРЕСНЕННЫХ РЕЧНЫМ СТОКОМ ОБИ И ЕНИСЕЯ ВОД ПО АКВАТОРИИ КАРСКОГО МОРЯ	
Поярков С.Г., Недоспасов А.А.	129
ЯХТЕННАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ: 15-ЛЕТНИЙ ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ШЕЛЬФЕ	
Серебряный А.Н.	135
ВНУТРЕННИЕ ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ В ОКЕАНЕ С ФОНОВЫМИ СДВИГОВЫМИ ТЕЧЕНИЯМИ	
Булатов В.В., Владимирюв Ю.В.	139
ИЗМЕРЕНИЕ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ШЕЛЬФЕ АКУСТИЧЕСКИМ ТОМОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ	
Гончаров В.В., Курьянов Б.Ф., Серебряный А.Н.	143
О ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЕ МУЛЬТИДЕКАДНОЙ ОСЦИЛЛЯЦИИ ТЕПЛОСОДЕРЖАНИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА	
Бышев В.И., Анисимов М.В. Гусев А.В., Сидорова А.Н.	147
СОВРЕМЕННЫЕ ГЛОБАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ: ОЦЕНКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ НА АКВАТОРИЯХ МИРОВОГО ОКЕАНА	
Михайлов П.С., Конешов В.Н., Погорелов В.В., Соловьев В.Н., Железняк Л.К.	151
ОПЫТ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ МОРСКОГО ЛЬДА С ПОМОЩЬЮ ГЕОРАДАРА ЛОЗА	
Морозов П.А., Писарев С.В.	155
НОВЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ЛЕДЯНОГО ОБРАЗОВАНИЯ.	
Писарев С.В., Вергун А.П.	160

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ УТОЧНЕНИЯ АЛЬТИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПОЛУЧАЕМЫХ С ИСЗ В ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ.

Руссак Ю.С. _____ 164

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДИНАМИКИ И ЗАПОЛНЕНИЕ ПРОПУСКОВ В ПОЛЯХ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСКОЙ ВОДЫ, ИЗМЕРЯЕМЫХ СПУТНИКОВЫМИ СКАНЕРАМИ

Ермаков Д.М., Маклаков С.М., Савченко Е.В., Чернушич А.П. _____ 166

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АВТОНОМНЫЙ КОМПЛЕКС ОТБОРА ПРОБ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ПРИРОДНЫХ ВОД

Хлебников Д.В., Газенко А.О., Илларионов С.В., Коновалов Б.В. _____ 170

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СУДОВОЙ НОСОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ И БИООПТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ПРИРОДНЫХ ВОД

Хлебников Д.В., Анисимов М.В., Газенко А.О., Илларионов С.Н.,

Коновалов Б.В. _____ 171

СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ТРАССИРОВАНИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МОРЯ

Хлебников Д.В., Анисимов М.В., Газенко А.О., Илларионов С.В.,

Коновалов Б.В. _____ 173

ТЕРМОХАЛИННЫЕ АНОМАЛИИ И ФРОНТЫ В ЧЕРНОМ МОРЕ, ИХ СВЯЗЬ С ТОНКОЙ СТРУКТУРОЙ ВОД

Зацепин А.Г., Подымов О.И. _____ 175

II. ГЕОЛОГИЯ, ГИДРОФИЗИКА, РЕСУРСЫ

МОРСКАЯ ПРИДОННАЯ СТАНЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ

Ковачев С.А., Крылов А.А., Иванов В.Н., Тимашкевич Г.К.,

Егоров А.В. _____ 179

СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ ПЛОЩАДКИ БЕТТА (ЧЕРНОЕ МОРЕ)

Ковачев С.А., Крылов А.А., Миронюк С.Г. _____ 183

О ПАЛЕОСТРУКТУРАХ РЕКИ АШАМБА В ГОЛУБОЙ БУХТЕ СОГЛАСНО СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Клюев М. С., Шрейдер А. А., Бреховских А. Л., Ракитин И.Я.,

Сажнева А. Э., Зверев А. С. _____ 187

О ТЕХНОЛОГИИ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ РЕЧНЫХ ПАЛЕОСТРУКТУР МОРСКОГО ДНА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ

Клюев М. С. , Шрейдер А. А., Бреховских А.Л., Ракитин И. Я.,

Сажнева А. Э., Зверев А. С. _____ 191

ЭВОЛЮЦИЯ ДНА В КОТЛОВИНЕ ПОУЭЛЛ НА СЕВЕРО – ЗАПАДЕ МОРЯ УЭДДЕЛЛА.

Шрейдер А.А., Сажнева А.Э., Клюев М.С., Бреховских А.Л., Бохойо Ф.,

Галиндо-Зальдивар Х., Моралес Ц., Евсенко Е.И., Гринберг О.В. _____ 195

ДОКАЗАТЕЛЬСТВА СОВРЕМЕННОЙ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В
ОСЕВОЙ ЧАСТИ ХРЕБТА ГАККЕЛЯ ПО ДАННЫМ МНОГОЛУЧЕВОЙ
БАТИМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Жолондз А.С.	197
РЕЗУЛЬТАТЫ ДОННЫХ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В АКВАТОРИИ ПЕРСИДСКОГО ЗАЛИВА	
Ковачев С.А., Крылов А.А., Егоров А.В.	201
ГЛУБОКИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ В АКВАТОРИИ ПЕРСИДСКОГО ЗАЛИВА	
Ковачев С.А., Крылов А.А., Ганжа О.Ю., Егоров А.В.	205
АКТУАЛЬНЫЕ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДОБЫЧИ ГЛУБОКОВОДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В МЕЖДУНАРОДНОМ РАЙОНЕ МОРСКОГО ДНА	
Мустафина Ф.И., Черкашев Г.А.	209
О ДИНАМИКЕ ОСАДОЧНЫХ ВОЛН НА ЗАПАДНОМ СКЛОНЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ	
Амбросимов А.К.	212
О ВОЗДЕЙСТВИИ МЕТАНОВЫХ СИПОВ НА ГИДРОЛОГИЮ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ	
Амбросимов А.К.	216
ПРАКТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ СУБАКВАЛЬНЫХ ГЕООПАСНОСТЕЙ	
Миролюк С.Г., Росляков А.Г.	220
ПОМЕХИ ОТ ПРИДОННЫХ ТЕЧЕНИЙ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА МОРСКОМ ДНЕ	
Левченко Д. Г.	224
ТЕХНОЛОГИЯ ГЕОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ОСАДОЧНОГО ПОКРОВА ДНА ШЕЛЬФА ПОЛУОСТРОВА КРЫМ	
Лесин А.В., Анисимов И.М., Тронза С.Н.	228
СУДОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ШЕЛЬФЕ ПОЛУОСТРОВА КРЫМ	
Лесин А.В., Анисимов И.М.	232
ОДНОЛУЧЕВОЕ ЭХОЛОТИРОВАНИЕ И АКУСТИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ ДОННОГО РЕЛЬЕФА НА ШЕЛЬФЕ ПОЛУОСТРОВА КРЫМ	
Анисимов И.М., Лесин А.В., Пронин А.А., Мутовкин А.Д.	236
О ДИАГНОСТИКЕ ГАЗОВЫХ ФАКЕЛОВ В МОРЕ МЕТОДОМ НЕЛИНЕЙНОГО АКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ	
Буланов В.А., Соседко Е.В.	239
АСПЕКТЫ ОЦИФРОВКИ БАТИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА ШЕЛЬФЕ ПОЛУОСТРОВА КРЫМ	
Лискин В.А., Римский-Корсаков Н.А., Егоров А.В.	243

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОКСОВОГО МЕТОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭКОЛОГИИ В КАРСКОМ МОРЕ В РАЙОНАХ ЗАХРОНЕНИЙ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Лискин В.А., Егоров А.В., Римский-Корсаков Н.А. _____ 245

КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОЛОГО ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В 115 РЕЙСЕ НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ» НА ШЕЛЬФЕ ПОЛУОСТРОВА КРЫМ.

Римский-Корсаков Н.А., Бурдиян Н.В., Пронин А.А. _____ 247

МИКРОКОМПОНЕНТЫ В МАКРОМАСШТАБАХ: ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МОРЯХ И ОКЕАНАХ МИКРОСКОПИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Рейхард Л.Е., Козина Н.В., Боев А.Г., Дара О.М., Рейхард А.Г. _____ 250

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ СУБМАРИННЫХ МЕРЗЛЫХ ТОЛЩ И ЗОНЫ СТАБИЛЬНОСТИ ГАЗОГИДРАТОВ (НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО ШЕЛЬФА)

Гаврилов А.В., Малахова В.В., Пижанкова Е.И. _____ 255

КОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ИЗУЧЕНИИ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ШЕЛЬФЕ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ РОССИИ

Пижанкова Е.И., Гаврилов А.В., Кучейко А.А. _____ 259

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ГЛУБОКОВОДНОГО БУРЕНИЯ ТКГБ ДЛЯ МОРСКИХ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Насонов Д.А., Григорчук А.В., Воронов М.А., Каминский Д.В., Малин В.Б. _____ 263

НОВЫЙ ЛОГТЕР РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА

Кочетов О.Ю., Кондрашов А.А., Швиев Д.А., Островский А.Г. _____ 267

ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ ПУЗЫРЯ МЕТАНА В ВОДЕ ПРИ ЕГО ВСПЛЫТИИ

Егоров А.В., Рожков А.Н. _____ 271

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАТЧИКА МЕТАНА ДЛЯ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСНЫХ ВОД ПО ХОДУ СУДНА

Егоров А.В., Рожков А.Н. _____ 276

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОДЕРЖАНИЯ МЕТАНА В ЗОНЕ СМЕШЕНИЯ ВОД РЕКИ ПРЕГОЛЯ И БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Кудрявцева Е.А., Егоров А.В. _____ 280

ВЕРИФИКАЦИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПОДСПУТНИКОВЫМИ/СУДОВЫМИ ИЗМЕРЕНИЯМИ УГЛЕВОДОРОДОВ/НЕФТЕУГЛЕВОДОРОДОВ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ

Александрова А.Г., Иванов А.Ю., Немировская И.А. _____ 284

1. ГИДРОФИЗИКА

УДК 551.46

ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ ТЕЧЕНИЙ МИРОВОГО ОКЕАНА

Бондаренко А.Л.

*Институт водных проблем РАН, ул. Губкина, д. 3119333,
г. Москва, 8(499)135-54-56, albert-bond@mail.ru*

MEASURING THE CURRENTS OF THE WORLD OCEAN

Bondarenko A.L.

*Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences,
3. Gubkin Str., Moscow, 119333*

Показано, что информация о течениях Мирового океана, получаемая с помощью стандартных измерителей “течений”: дрейфтеров или установленных стационарно измерителей “течений” - неверна. Фактически её следует рассматривать, как дезинформацию о течениях Мирового океана. Причин этому много, но здесь рассмотрим только некоторые из них.

It is shown that information about the flows of the World ocean, got by means of standard measuring devices of "flows": drifters or set stationary measuring devices of "flows" - incorrect. Actually her it is necessary to examine, as misinformation about the flows of the World ocean. Reasons to it much, but here we will consider only some of them.

Современная наука о Мировом океане считает, что его динамика определяется в основном течениями и долгопериодными волнами. Популярна такая трактовка течений и волн: это движения частиц воды. В течениях, частицы объединены в некий объём воды и их движения в целом поступательны, однонаправлены, течениями поступательно переносится масса воды. В волнах частицы воды в режиме суперпозиции совершают возвратно-поступательные, колебательные, в основном циклонической и антициклонической направленности движения, относительно неподвижного центра равновесия, своего для каждой частицы. Волны массу воды поступательно, однонаправленно не

переносят. Это отличие волн от течений – не единственное, но существенное.

Средой существования волн и течений в данном случае является вода. Всё, что оказывается в воде, но таковой не является, следует рассматривать, как инородные тела. Сюда следует отнести и дрейферы, и измерители течений, установленные стационарно.

В течениях, дрейфер, в режиме присоединённой массы воды, движется вместе с водой, поступательно. По движению дрейфера существует возможность определить пути движения некоторых объёмов воды, их скорость и направление. По показаниям измерителя течений, установленного стационарно, можно определить объёмы воды, перемещающейся в различных направлениях.

В волнах процесс взаимодействия волн и инородных тел происходит иначе, его можно описать так. Силовое поле волн действует на частицы воды силой пропорциональной плотности силовых линий. В свою очередь частицы воды действуют на инородные тела: дрейфер или прибор. В зависимости от места положения дрейфера или прибора в волне, дрейфер может совершать различные поступательные и возвратно-поступательные движения, а прибор - фиксировать воздействия волн приблизительно схожей частотной структуры.

В настоящее время наука не даёт ответа, что представляют собой движения частиц воды в волнах, как соотносятся параметры волн с движением в них частиц воды, величиной движения дрейфера или показаниями приборов. Но важно понимать: волны не создают поступательных перемещений воды, а лишь небольшие возвратно-поступательные, в основном циклонической и антициклонической направленности, движения частиц воды вокруг некоего неподвижного центра равновесия.

Вместе с тем дрейфер, помещённый в поле волн, совершает не только возвратно-поступательные движения, но и поступательные. Стационарно установленные приборы в измерениях будут выдавать сигнал эквивалентный движению дрейфера: возвратно-поступательный и поступательный. Масса воды в волне не переносится, а дрейфер совершает поступательные движения. Покажем, как это происходит.

На рис. 1а изображены силовые линии, линии тока долгопериодных волн, волн солитонов, в Гольфстриме. Величина силы пропорциональна плотности силовых линий. В Гольфстриме плотность силовых линий наибольшая в волне, соответственно, и сила, действующая на частицы воды – наибольшая. Волны движутся в противоположную сторону направления Гольфстрима. На рис. 1 б изображена скорость движения дрейфера в волнах.

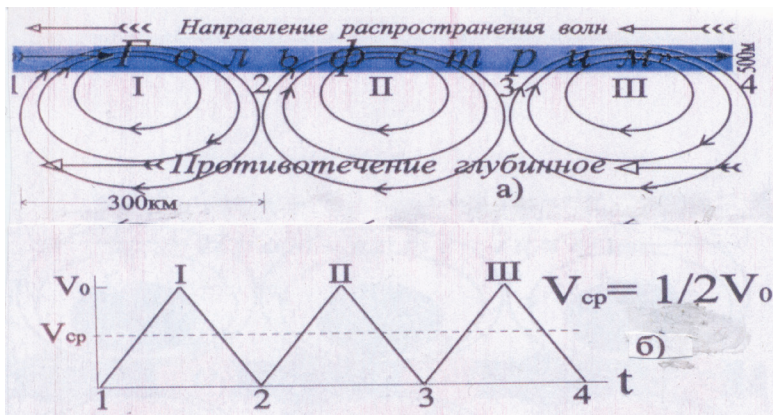


Рис. 1а, б. Проекция силовых линий долгопериодных волн, волн солитонов на вертикальную плоскость, проходящую через центр Гольфстрима, что одно и то же, через центр волн (а); скорость движения дрейфера, помещённого в поверхностные воды Гольфстрима, т. е. в силовое поле волн (б). Стрелки на силовых линиях – направление силы, действующей на частицы воды.

Дрейфер, помещённый в воды Гольфстрима, в волновом поле будет двигаться в направлении течения Гольфстрим, т. е. вправо (см. рис. 1а), но скорость его движения будет меняться. В моменты времени, когда он будет находиться в точках 1, 2, 3, 4, расположенных между волнами, скорости движения дрейфера будут равны нулю или очень малыми, а в точках I, II, III, максимальными. Будет зафиксирован сигнал зубчато-образной формы, рис. 1б. Аналогичной формы будет зафиксирован сигнал и стационарно установленным прибором. В этом случае средняя скорость движения дрейфера или средняя величина показания прибора по скорости “течения”, V_{cp} :

$$V_{cp} = 1/2V_0, \quad (1)$$

где V_0 – амплитуда колебания скорости движения дрейфера или амплитуда колебания скорости “течения” в измерениях стационарно-установленным прибором, V_{cp} – 1/2 амплитуды волны.

Если по реальным наблюдениям “течений” получена связь (1), то это указывает на то, что измеренные “течений” относятся к долгопериодным волнам.

Далее приведём образцы измерений “течений” дрейфером в Гольфстриме (рис. 2а, б) и стационарно-установленным прибором в Каспийском море (рис. 3а, б, в).

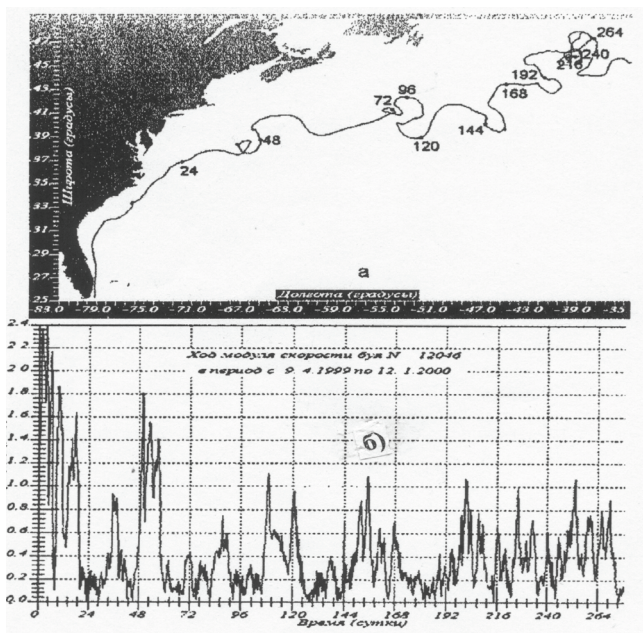


Рис. 2а, б. Трасса дрейфера, запущенного в воды Гольфстрима(а). Числа около точек – время движения дрейфера в сутках с момента его запуска. Модуль скорости движения дрейфера, трасса которого изображена на предыдущем рисунке (б).

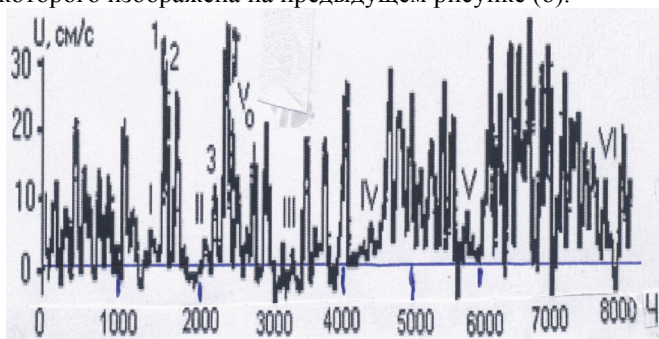


Рис. 3а, б, в. Измерения скорости “течений” стационарно установленным прибором в пункте Нефтяные камни Каспийского моря (а). В виде пульсаций выделяются колебания скорости “течений”, вызванные долгопериодными волнами, их период ~140 ч. Отдельные пульсации обозначены цифрами 1, 2 3. Направление “течений” на юг, и не меняется во времени.

Из натуральных наблюдений точно получить равенства (1) не удастся. Это можно объяснить двумя причинами. Первая причина: в реальности могут присутствовать течения, переносящие массу воды. Вторая причина: в реальной действительности величина скорости “течения” между волнами не всегда равна нулю, что хорошо видно на рис. 2б. Поэтому, только по этим измерениям трудно говорить о наличии и величине постоянных течений. Но можно уверенно утверждать, что величина вклада волн в движения дрефтера или показания стационарно установленного прибора намного больше, чем величина течений.

Вывод: Океанические течения измеряются с очень большими погрешностями, величина которых зачастую намного превышает сами течения.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бондаренко А. Л. Крупномасштабная динамика и долгопериодные волны Мирового океана и атмосферы. 2020 г. Монография. METEOWEB.ru Интернет журнал, 189с <http://meteoweb.ru/aao.php>

УДК 551.46

ПРИЧИНА ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕЧЕНИЙ. ГОЛЬФСТРИМ, КУРОСИО И Т. Д.

Щевьев В. А.

*Институт водных проблем РАН 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3.
Тел. 499-135-73-80, e-mail Shtshev@rambler.ru*

THE REASON FOR THE INTENSIFICATION OF CURRENTS. GULF
STREAM, KUROSIО ETS.

Shtshev V. A.

Institute of Water Problems RAS 119333, Moscow, st. Gubkina, 3.

Интенсификация западных пограничных течений происходит из-за увеличения кориолисовой силы с юга на север. (Стоммел, 1948). Показано, что экваториальные течения, обладая большой кинетической энергией, встречая препятствие в виде континентов, проистекают с увеличенной скоростью.

The intensification of the western boundary currents is due to an increase in the Coriolis force from south to north (Brttta Effect) (Stommel, 1948). It is shown that equatorial currents, possessing high kinetic energy, encountering an obstacle in the form of continents, proceed with an increased speed.

Бетта-эффект, как причина западной интенсификации крупномасштабной циркуляции в океанах упоминается во многих работах. Стоммел рассмотрел ветровую циркуляцию в однородном прямоугольном океане. Задавая упрощенное поле напряжения ветра, линейаризованное придонное трение, горизонтальный градиент давления и учитывая силу Кориолиса, он показал, что сгущение линий тока является следствием изменения параметра Кориолиса с широтой. Он признавал искусственный характер своей модели и полагал, что его работа всего лишь «наводит на размышления, но, безусловно, не дает окончательного решения».

Подробное описание возможного механизма этого процесса находим лишь в книге (Питер Вейль, 1977).

Рассматриваются силы, заставляющие поверхностные воды вращаться по часовой стрелке в системе круговорота в субтропической части Северной Атлантики. Движущая сила – ветер имеет такое же вращение. Трение действует в противоположном направлении, противодействуя увеличению скорости вращения. Если бы это были единственными силами, вызывающими циркуляцию, то течения были бы симметричными. Стоммел указал, что существует третья сила, вызывающая течения – сила Кориолиса. Эта сила действует на единицу массы пропорционально синусу широты и увеличивается от нуля на экваторе до $1,5 \cdot 10^{-4}$ на полюсе. Изменение силы Кориолиса с широтой и вызывает асимметрию течений. Рассматриваются эти три силы отдельно (рис. 1).

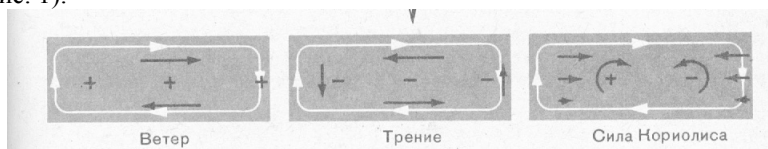


Рис. 1. Силы, вызывающие вращение жидкости. + вращение по часовой стрелке; - вращение против часовой стрелки.

«Ветер вызывает вращение воды по часовой стрелке, которое будем считать положительным. Трение прямо пропорционально квадрату скорости воды и действует в направлении, противоположном движению жидкости, поэтому имеет отрицательный знак по всему круговороту. Сила Кориолиса в северном полушарии действует вправо от направления движения жидкости. Таким образом, западное пограничное течение будет отклоняться к востоку. При постоянной скорости потока сила Кориолиса будет увеличиваться с юга на север. Увеличивающееся к северу отклонение будет вызывать положительное вращение жидкости. В восточном пограничном течении воды под действием силы Кориолиса будут отклоняться на запад. Это отклонение по мере движения к югу будет уменьшаться пропорционально синусу широты. В результате широтного изменения силы Кориолиса здесь возникает отрицательное вращение. Для поддержания постоянной скорости вращения положительные и отрицательные силы должны уравновесить друг друга.

Предположим, что течения имеют одинаковые скорости на обеих сторонах океана. Тогда относительные оценки трех сил, вызывающих вращение жидкости, будут такими:

<i>Сила, вызывающая вращение</i>	<i>Идущее на север течение в западной части океана</i>	<i>Идущее на юг течение в восточной части океана</i>
Ветер	+1,0	+1,0
Трение	-0,1	-0,1
Изменение силы Кориолиса с широтой	+1,0	-1,0
Сумма	+1,9	-0,1

Из таблицы видно, что в этом случае силы не могут быть сбалансированы. Равновесие сил наступит лишь при условии усиления течения в западной части океана. Действительно, пусть скорость пограничного течения на западе в 10 раз превышает скорость потока на востоке. Эффект ветра при этом не изменится, а силы трения и Кориолиса возрастут пропорционально скорости течения. Оценки сил будут следующими:

<i>Сила, вызывающая вращение</i>	<i>Идущее на север течение в западной части океана</i>	<i>Идущее на юг течение в восточной части океана</i>
Ветер	+ 1,0	+ 1,0
Трение	-10,0	- 0,1
Изменение силы Кориолиса с широтой	+ 9,0	- 0,9
Сумма	0,0	0,0

Таким образом, баланс сохраняется только при условии интенсификации западного пограничного течения. Теперь становится понятным, что непосредственной причиной асимметрии течений является изменение силы Кориолиса с широтой.

В результате Гольфстрим в Атлантике и его тихоокеанский аналог – Куроиси значительно сильнее течений восточных частей океанов». (Peter K. Weyl, New York, 1970).

Мы находим серьезные ошибки в этих рассуждениях.

«Стоммел указал, что существует третья сила, вызывающая течения – сила Кориолиса». На самом деле сила Кориолиса не вызывает течения, а только отклоняет его направление. В зависимости от широты места наблюдения изменяется период изменчивости направления без изменения скорости [2,3].

Крупномасштабные антициклонические циркуляции в океанах возникают не из-за ветрового воздействия. Наиболее вероятной причиной их образования является воздействие приливообразующих сил Луны и Солнца на водные массы океанов в районе экватора (И. Кант 1744 г.). Луна (и Солнце) тащат воду вдоль экватора с востока на запад, встречаясь на западе с континентами, течения отклоняются к северу и югу, образуя антициклонические циркуляции, отдельно в северных и южных частях трех океанов. Что же вызывает асимметрию в циркуляции океанических течений? Основной причиной интенсификации западных ветвей крупномасштабных циркуляций является тот факт, что энергия экваториальных течений велика. Они наблюдаются до глубин 4000 – 5000 м. Естественно, проистекая вдоль западных берегов океанов, они имеют большую скорость, чем ветви восточной части, имеющие компенсационный характер. [2,3.4.5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Питер Вейль. Популярная океанография. Л. Гидрометеиздат, 1977.
2. Щевьев В. А. Физика течений в океанах, морях и в озерах. История поисков, размышлений, заблуждений, открытий. 2012 г. 312 с. Изд-во LAMBERT Academic Publishing. ISBN: 978-3-8484-1929-6
3. Щевьев В. А. Физика течений в океанах, морях и в озерах. <http://www.randewy.ru/gml/shev5.html>
4. Щевьев В. А. Физика волн в океанах, морях и озерах. Историческая драма идей, поисков, размышлений, заблуждений, открытий. М. Бит-принт 2019. 295 стр.
5. Щевьев В. А. Приливообразующие силы Луны и Солнца –

причина образования длиннопериодных волновых течений в океане. Электронный журнал «Исследовано в России», 032, стр. 320-334, 2009 г. <http://zhurnal.apc.relarn.ru/articles/2009/032.pdf>

УДК 551.46

ВОЛНОВАЯ ПРИРОДА ТЕЧЕНИЙ В МОРЯХ И ОКЕАНАХ

Щевьев В. А.

Институт водных проблем РАН 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3. Тел. 499-135-73-80, e-mail Shtshev@rambler.ru

WAVE NATURE OF CURRENTS IN SEAS AND OCEANS

Shtshev V. A.

Institute of Water Problems RAS 119333, Moscow, st. Gubkina, 3.

Многочисленные измерения течений в любых точках океанов и морей показывают, что течения изменяются с периодом 1 – 2 мес., имеют волновую природу, которую показывают Лаппо С. С., Монин А. С., Корт В. Г. и другие.

Numerous measurements of currents at any points of the oceans and seas show that currents change with a period of 1 - 2 months, have a wave nature, which is shown by S.S. Lappo, A.S. Monin, V.G. Kort.

Течения в морях и океанах – сложный процесс, зависящий от многих причин. Существуют ветровые, термохалинные, стоковые, сейшевые, приливные, инерционные, захваченные берегом и другие течения. «Самые важные и самые сильные течения возникают под действием ветра на поверхность вод» (В. В. Шулейкин, 1968), имея в виду экмановские течения. Вместе с тем исполнилось 115 лет существования этой теории, а никто так и не наблюдал спираль Экмана. Более того, многочисленные измерения течений в любых точках океанов и морей показывают, что течения изменяются с периодом 1 – 2 мес., имеют волновую природу, и, что очень важно, изменение скорости и направления течений зачастую синхронны на всех горизонтах до глубин 4 – 5 тыс. м. [1,2]

Представления о волнах в океане периоды которых значительно превышают периоды гравитационных волн (волны Россби, планетарные волны) появились в 90 годы XIX века при решении «приливных» уравнений Лапласа. Начиная с 60 годов прошлого века их начали регистрировать по измерениям в океане, сначала по измерениям уровня, а затем и скорости течения. В многочисленных работах авторы называют их по – разному. Медленные осцилляции; Нестабильные волны; Бароклинные береговые струи; Топографические волны; Континентальные шельфовые волны; Синоптические вихри; Бароклинные вихри; Океанские вихри; Топографические ринги; Глубинные струи; Захваченные экватором гравитационные волны Россби; Экваториальные длинные волны; Двойные волны Кельвина; Длиннопериодные волны. Их общее свойство – квазипериодическая изменчивость и наличие фазовой скорости. В отличие от теоретических представлений наблюдаемые волны переносят большую массу воды.

Существуют различные методы регистрации длиннопериодных волн. Инструментальные наблюдения в нескольких пунктах, по которым можно рассчитать длину волны и построить спектры; по перемещению изменчивости изопикнических поверхностей на повторных разрезах (рис. 3); по изменчивости скорости перемещения дрейфтеров; по альтиметрии и распределения температуры из космоса.

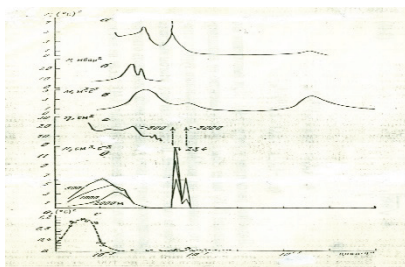


Рис.1. Спектры изменчивости характеристик атмосферы и океана. (С. С. Лаппо, 1979). а – температура воздуха в приземном слое (Колесникова, Монин 1965); б – атмосферного давления (Hamon, 1962); в – скорости ветра в нижнем слое атмосферы (Van der Hoven, 1957); г – приведенного уровня океана (Hamon, 1962); д – скоростей течений на горизонтах 500, 1000 и 2000 м в западной точке Атлантического океана, (Rhines, 1971); е – температура воды на горизонте 500-600 м у Бермудских островов (Wunsch, 1972).

Лаппо С. С. (директор ИО РАН в 1993 – 2006 г. г.) на основе анализа предыдущих 20 летних наблюдений (ПОЛИМОДЕ и т.д.) сделал вывод: «Анализ наблюдений за течениями обнаружил существенную изменчивость динамического состояния вод, особенно на глубинах более 1000 м., что весьма резко **расширилось** с существовавшими теоретическими концепциями. Наступил **волновой** этап в исследовании течений океанов. [Лаппо С. С. 1979]. Этот вывод автор иллюстрирует рис. 1, где представлены спектры скорости течений на трех горизонтах и ветра. Спектр изменчивости скоростей течений содержит узкий пик приливного характера, который, однако, не несет преобладающей доли энергии. 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. Он находится в зоне 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 максимуму, превышает энергию приливных и инерционных колебаний в скоростях течений.

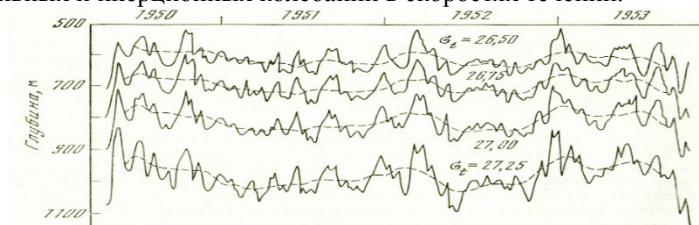


Рис. 2. Низкочастотные колебания глубины залегания изопикнических поверхностей в 1950-1953 г.г. (Ст. «ТАНГО» 24°с.ш. 135°в.д.) (Ясуи 1964).

На рис 2 представлены колебания глубин залегания изопикнических поверхностей. Преобладающий период колебаний равен 95 суток. Вероятно, эти колебания отражают изменчивость течений волновой природы. Амплитуда смещений превышает 100 м.

На рис. 3. отчетливо видно, что синоптические возмущения перемещаются на запад со средней скоростью 4,5 см/с., что более чем в 3 раза меньше наблюдаемой на горизонте 250 м. максимальное значение скорости, направленного на запад крупномасштабного течения. Авторы Бернштейн и Уайт сделали вывод, что так же, как и на «Полигоне – 70»

(Koshlyakov, Grachev, 1973), перемещение на запад возмущений температуры носило **волновой** характер. Преобладающая зональная длина волны возмущений температуры была равна примерно 400 км.

Многочисленные примеры исследований, показывающих волновую природу течений в океанах и морях собраны в книгах автора [1,2,3].

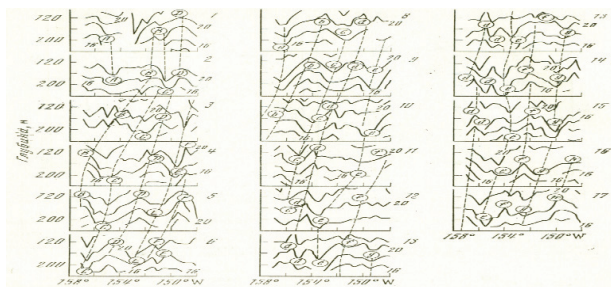


Рис. 3. Последовательные распределения температуры (С) в верхней части термоклина на повторенном 16 раз квазизональном разрезе TWE в районе 25⁰ с. ш. (февраль 1964 г. – май 1965 г.) (Bernstein, White, 1974). Латинские буквы идентифицируют отдельные максимумы и минимумы температуры; Положения этих экстремумов соединены штриховыми линиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щевьёв В. А. Физика течений в океанах, морях и в озерах. История поисков, размышлений, заблуждений, открытий. 2012 г. 312 с. Изд-во LAMBERT Academic Publishing. ISBN: 978-3-8484-1929-6
2. Щевьёв В. А. Физика течений в океанах, морях и в озерах. <http://www.randewy.ru/gml/shev5.html>
3. Щевьёв В. А. Физика волн в океанах, морях и озерах. Историческая драма идей, поисков, размышлений, заблуждений, открытий. М. Бит-принт 2019. 295 стр.

УДК 551.465; 551.467

**УСВОЕНИЕ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ МОДЕЛЬЮ NEMO
МЕТОДОМ АНСАМБЛЕВОГО ФИЛЬТРА КАЛМАНА С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ**

Степанов В.Н., Ю.Д. Реснянский, Б.С. Струков, А.А. Зеленко

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации, г. Москва,
vlnst@mecom.ru; resn@mecom.ru*

**ASSIMILATION OF THE OBSERVATIONAL DATA BY THE NEMO
MODEL WITH THE KALMAN ENSEMBLE FILTER METHOD USING
SYNTHETIC OBSERVATIONS**

Stepanov V. N., Resnyanskii Yu. D., Strukov B. S., and Zelenko A. A.

*Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation, 11-13,
Bolshoi Predtechenskii per., Moscow, 123242*

Представлены результаты расчетов по новой, разрабатываемой в Гидрометцентре России, версии системы усвоения океанографических данных, предназначенной для работы в оперативном режиме.

The paper presents the results of calculations from a new version of the oceanographic data assimilation system being developed at the Hydrometeorological Center of Russia, intended for forecasting weather in the ocean.

Результаты реанализа [1, 2], полученные с помощью системы усвоения океанографических данных (СУОД), разрабатываемой в Гидрометцентре России, показали, что применение трехмерной вариационной схемы 3D-Var на регулярной 1-градусной сетке обеспечивает существенное уточнение оценок состояния океана как по отношению к эксперименту без усвоения данных, так и по отношению к оценкам, использующих только климатические данные. Однако, данная СУОД для каждого модельного разрешения требует задания соответствующих пространственных ковариационных функций ошибок поля первого приближения, являющихся ключевым элементом вариационного анализа. Это существенно затрудняет переход,

например, с одноградусного разрешения на более высокое пространственное разрешение. При современном развитии вычислительной техники, когда уже возможно моделировать глобальную океанскую циркуляцию с разрешением океанских вихрей (см., например, [3]), замена вариационного анализа, используемого в СУОД, на ансамблевый подход является более предпочтительным, поскольку не требуется предварительного расчета выше упомянутых ковариационных функций.

В докладе представляются результаты, полученные с новой, разрабатываемой в Гидрометцентре России, версией СУОД, предназначенной для работы в оперативном режиме. Данная версия СУОД в качестве прогностической модели, как и ранее, использует одну из наиболее активно развивающихся моделей общей циркуляции океана – модель NEMO в конфигурации ORCA1, сопряженной с моделью морского льда SI3. Усвоение данных осуществляется по циклической схеме «анализ–прогноз–анализ», в которой последовательно может усваиваться информация, относящаяся как к океанской поверхности, так и к вертикальным распределениям температуры и солёности воды. Усвоение проводится с использованием программного продукта PDAF (Parallel Data Assimilation Framework). Используется локальный ансамблевый фильтр Калмана с преобразованием ансамбля (a Local Ensemble Transform Kalman Filter, LETKF) с горизонтальной локализацией (с радиусом влияния наблюдений для весовой функции задаваемым равным $3,5^\circ$) и размером ансамбля в 20 членов.

Выполнено несколько численных экспериментов по моделированию системы океан–морской лёд. Вначале проводилось свободное интегрирование модели с различными значениями коэффициентов горизонтальной турбулентной вязкости и диффузии, но с одинаковыми атмосферными воздействиями. Модельные данные, полученные с более высокими значениями этих коэффициентов (эксперимент E2), использовались для определения полей первого приближения в последующих экспериментах с усвоением данных, в то время как результаты расчетов с более низкими значениями коэффициентов (эксперимент E1) полагались представляющими истинное состояние, и часть этих результатов использовались как имитированные наблюдения.

Анализ результатов экспериментов с усвоением данных различных типов с помощью фильтра Калмана, включаемого в модель NEMO с реальной топографией дна, свидетельствует, что степень уточнения модельных полей в ходе усвоения данных существенно

зависит от состава данных, подаваемых на вход процедуры усвоения.

Усвоение данных, относящихся к поверхности океана, значимо уточняет эти модельные поля, за исключением случая, когда усваиваются только горизонтальные компоненты скорости поверхностных течений. В последнем случае никакого улучшения для модельных полей не происходит. При усвоении только уровенной поверхности, ζ , или при ее усвоении совместно с поверхностной температурой, T_s , происходит некоторое уточнение воспроизводимого поля температуры на глубине. Следовательно, при усвоении только поверхностных данных моделью с невысоким горизонтальным разрешением предпочтительно усваивать ζ совместно с T_s .

Совместное усвоение трехмерных полей температуры и солёности воды (эксперимент AT_S) существенно улучшает как эти модельные поля, так и расчетное поле уровенной поверхности ζ . Такое усвоение в течение 12 месяцев уменьшает глобально осредненную среднеквадратическую ошибку (СКО) среднемесячной ζ на ~40% (и на ~60% для случая, когда дополнительно усваивается ζ , эксперимент AT_S_SSH), на поверхности океана глобально осредненные СКО температуры/солёности уменьшились на ~35/~20%, а на горизонтах 500 и 1000м эти СКО уменьшились на ~60/40 % и ~50/20 % , соответственно.

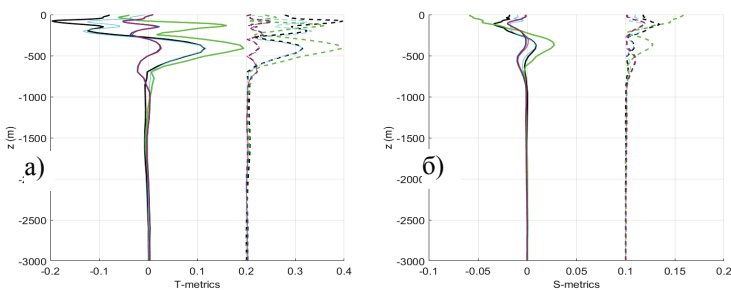


Рис. 1. Вертикальные распределения средних (сплошные линии) и среднеквадратичных (штриховые линии) различий температуры воды (а) и ее солёности (б) между результатами проведенных экспериментов. Черный цвет – между E2 и E1; зеленый – между ASSH и E1; голубой – между ASUR и E1; синий – между AT_S и E1; красный – между AT_S_SSH и E1. Кривые для СКО смещены по оси абсцисс вправо, соответственно, на 0,2°C и 0,1 епс.

Что касается вертикальных распределений (рис. 1), то наибольшие различия между всеми экспериментами отмечаются в верхнем ~500 м слое: средние разности температуры/солености между экспериментом E1 и с усвоением ζ (эксп. ASSH) достигают ~0,2 °C/0,05 епс, причем отличия в солености и СКО солености в ASSH больше чем в E2. Усвоение ζ совместно с T_S (эксперимент ASUR) уменьшает температурные и соленосные отличия по сравнению с E2, но только в верхнем ~200 м слое, не меняя существенно эти глобально осредненные отличия на нижних горизонтах.

Совместное усвоение данных о вертикальных распределениях температуры и солености воды существенно уменьшает отличия по сравнению с E2 в верхнем ~500 м слое, но, в среднем для всего Мирового океана, дает некоторое отличие для полей температуры и солености на нижней границе термоклина (~700–800м). Таким образом, совместное усвоение полей температуры и солености приводит к большему уточнению модельных полей, нежели усвоение только поверхностных данных, особенно только усвоение уровенной поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зеленко А.А., Вильфанд Р.М., Реснянский Ю.Д., Струков Б.С., Цырульников М.Д., Свиренко П.И. Система усвоения океанографических данных и ретроспективный анализ гидрофизических полей Мирового океана // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2016. –Т. 52. № 4. –С. 501–513. DOI: 10.7868/S0002351516040143.
2. Струков Б.С., Ю.Д. Реснянский, Зеленко А.А. Релаксационный метод усвоения данных о сплоченности морского льда в модели NEMO-CM3 с несколькими категориями ледяного покрова// Метеорология и гидрология –2020. –№2. –С. 65–77.
3. Iovino D., S.Masina, A.Storto, A.Cipollone and Stepanov V. A 1/16° eddying simulation of the global NEMOv3.4 sea ice-ocean system // Geosci. Model Dev. –2016. –Vol. 9. –P. 2665–2684. www.geosci-model-dev.net/9/2665/2016/, doi:10.5194/gmd-9-2665-2016.

УДК 551.46

**РОЛЬ ОКЕАНИЧЕСКИХ ДОЛГОПЕРИОДНЫХ ВОЛН В
ФОРМИРОВАНИИ ТЕПЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОКЕАНА
И АТМОСФЕРЫ, ПОГОДЫ И КЛИМАТА ЗЕМЛИ**

Бондаренко А.Л.

*Институт водных проблем РАН, ул. Губкина, д. 3119333,
г. Москва, 8(499)135-54-56, albert-bond@mail.ru*

**ROLE OF OCEAN LONG-PERIOD WAVES IN FORMATION OF
THERMAL INTERACTION OF THE OCEAN AND ATMOSPHERE,
WEATHER AND EARTH CLIMATE**

Bondarenko A.L.

*Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences,
3. Gubkin Str., Moscow, 119333*

Принято, что тепловое взаимодействие Мирового океана с атмосферой осуществляется турбулентностью в ветровых волнах и океанических течениях. Предлагаемые вниманию исследования показывают, что оно осуществляется в основном океаническими долгопериодными волнами, имеющими кинематику волн солитонов [1, 2].

It is accepted that the thermal interaction of the World Ocean with the atmosphere is carried out by turbulence in wind waves and ocean currents. The studies presented here show that it is carried out mainly by oceanic long-period waves with kinematics of soliton waves [1, 2].

Тепловое взаимодействие Мирового океана с атмосферой осуществляется процессами в океане, в которых существуют вертикальные движения частиц воды. Принято, что такими процессами является турбулентность в ветровых волнах и океанических течениях. Предлагаемые вниманию исследования показывают, что тепловое взаимодействие океана с атмосферой осуществляется в основном океаническими долгопериодными волнами. Считается, что их кинематика описывается кинематикой волн Россби. Считается также, что эти волны не участвуют в теплообмене океана с атмосферой,

поскольку частицы воды в них движутся в горизонтальном направлении, а для теплообмена океана с атмосферой необходимы, как отмечалось, вертикальные движения частиц.

Недавно было установлено, что долгопериодные волны имеют кинематику не волн Россби, а волн солитонов, в которых существуют вертикальные движения частиц воды, вверх – вниз [3, 4]. С позиции этих новых представлений о долгопериодных волнах, нами установлено: волны участвуют в теплообмене океана с атмосферой, и даже очень активно, волны изменяют температуру поверхностных вод океана, и тем самым – атмосферы, и, таким образом, активно участвуют в формировании погоды и климата Земли [1, 2].

Для исследования закономерностей формирования теплового взаимодействия океана с атмосферой были использованы измерения течений долгопериодных волн и температуры воды океана в экваториальной зоне Тихого океана в пункте на Экваторе 140⁰ з. д. за 1983- 2000 гг. Образец измерений представлен на рис. 1а, б.

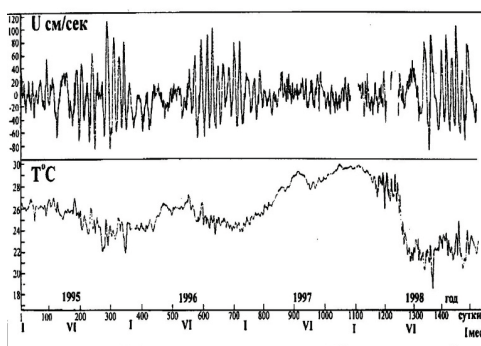


Рис. 1а, б. Меридиональная составляющая скорости течения долгопериодных волн V (а) и температура воды (б) в пункте на Экваторе (140⁰ з. д.) на горизонте 10 м за период 1995-1998 гг. Заметно выделяются колебания течений долгопериодных волн, с периодом ~ 19 суток (а).

По этим измерениям получена зависимость температуры поверхности океана от амплитуды колебания скорости течения долгопериодных волн. Высокий коэффициент корреляции (0,9) связи температуры поверхности океана и скорости течений долгопериодных волн с температурой поверхности океана указывает на то, что изменения температуры поверхности океана в основном зависят от долгопериодных волн, а прочие факторы не оказывают на связь

существенного влияния. Уравнение регрессии зависимости есть:

$$T = -KU\sigma + T' \quad (1)$$

Здесь T - температура поверхности океана, $U\sigma$ - среднеквадратическая (за половину года) величина амплитуды колебания скорости течений долгопериодных волн, $K = 0,167 \text{ } ^\circ\text{C см}^{-1}\text{с}$, T и T' измеряется в $^\circ\text{C}$, $T' = 29,7 \text{ } ^\circ\text{C}$, коэффициент корреляции зависимости 0,9.

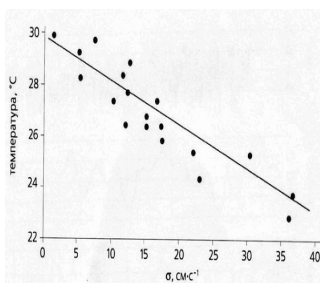


Рис. 2. Связь среднеквадратической (за половину года) величины скорости течений долгопериодных волн с температурой поверхности океана на горизонте 10 м в пункте (140°з.д.). Коэффициент корреляции связи 0,9.

На рис. 3 изображено силовое поле долгопериодной волны солитона Северного полушария для области океана между 0^0 - 25^0 с. ш.



Рис.3. Долгопериодная волна солитон (вид сверху на поверхность океана).

Далее покажем, каким образом долгопериодные волны, имеющие кинематику волн солитонов, участвуют в теплообмене океана с атмосферой, формировании температуры поверхностных вод океана, формировании погоды и климата Земли.

Тонкие эллипсовидные линии со стрелками – силовые линии, линии токов волны. Толстые стрелки, расположенные по центру струйного течения – направление распространения волны. **А** – антициклон, область с максимальной антициклональной завихренностью, **Ц** – циклон, область с максимальной циклональной завихренностью, между **А** и **Ц** находится область с наибольшей плотностью линий токов в волне. она получила название струйного течения.

Справа от струйного течения находится область конвергенции, антициклонических движений воды, опускания на глубину поверхностных тёплых вод, даунвеллинга. Слева от струйного течения находится область дивергенции, циклонических движений воды, подъёма на поверхность глубинных холодных вод, апвеллинга. Эти характеристики волн формируют температурные поля океанов, некоторые из которых представлены на рис. 4а,б,в,г.

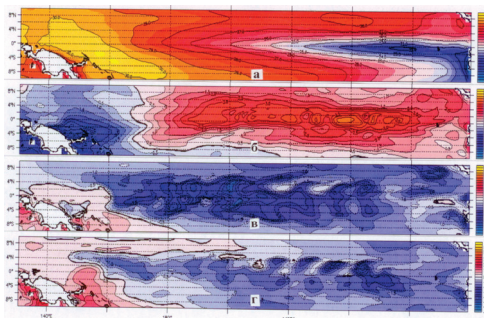


Рис. 4а,б,в,г. Средняя температура воды за время с 01.01.1993 – 27.11.2009 (а) Тихого океана на глубине 15 м (а) и аномалии температуры во время Эль-Ниньо (б), сильного (в) и слабого Ла-Нинья (г).

Заключение: Процессы подъёма и опускания вод, формируемые океаническими долгопериодными волнами, участвуют в тепловом взаимодействии океана с атмосферой. Активно этот процесс протекает в тропической области Тихого океана, между северным и южным пассатным течением, области циклонических движений воды, дивергенции и апвеллинга. Здесь развивается явление Э-Н – Л-Н, тепловое взаимодействие океана с атмосферой, в котором поток тепла

всегда направлен из атмосферы в океан, в результате чего воздух охлаждается. Интенсивность развития явлений определяется величиной океанических долгопериодных волн.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Архипкин В.С., Бондаренко А.Л., Борисов Е.В., Суркова Г.В. Роль волн Россби в формировании термодинамики вод Чёрного и Каспийского морей и атмосферы // Физические проблемы экологии (экологическая физика). М.: МАКС Пресс. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Физический факультет. 2007. № 14. С. 4-9.
- 2 Бондаренко А.Л., Борисов Е.В., Суркова Г.В. Взаимодействие океана и атмосферы. Роль волн Россби Мирового океана в термодинамике его вод и атмосферы, погоде и климате Земли. 2010. <http://www.oceanographers.ru/images/stories/pdf/rwaves.doc>
- 3 Бондаренко А.Л. Лето 2010 года: жара в России и наводнения в Пакистане// Наука в России. март-апрель, № 2. 2013а. С.28-31.
- 4 Bondarenko A.L. THE SUMMER OF 2010: HEAT IN RUSSIA AND FLOODS IN PAKISTAN// SCIENCE IN RUSSIA. 2013. № 2 (194),28-31.

УДК 532.5.011

ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛЯ СКОРОСТИ В ТЕЧЕНИИ ЗА СФЕРОЙ МЕТОДАМИ PIV и ADV

Стецюк И. В.

*ФГУП «Крыловский государственный научный центр» 196158, Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44,
8 (812) 415-46-19. I_Stetsyuk@ksrc.ru*

PIV AND ADV IN FLOW BEHIND THE SPHERE

Stetsyuk I. V.

*Krylov State Research Centre,
196158, Saint-Petersburg, Moskovskoe shosse, 44*

В докладе представлены результаты сравнения измерений поля скорости в течении за сферой методами PIV и ADV. Показано, что применение PIV является более предпочтительным ввиду большей информативности получаемых результатов и возможности визуализации течения.

The report describes a result of comparison PIV and ADV in flow behind the sphere. The results of comparative measurement present quantitative similarity and also advantage PIV due greater informativity and visualization.

Одним из способов изучения процессов, протекающих в жидких средах, является лабораторное моделирование [1]. Немаловажной задачей при проведении гидрофизических измерений является оценка точности получаемых результатов. Современным и информативным методом измерения скорости жидкости является метод PIV (particle image velocimetry) [2]. Основными источниками образования первичной неопределенности при использовании метода PIV являются неравномерность плотности посева частиц, вне-плоскостное движение, градиенты потока. Наиболее надёжным способом снижения уровня первичной неопределённости является предотвращение факторов, негативно сказывающихся на точности измерений. В случаях, когда минимизировать негативные факторы не представляется возможным, целесообразно провести сравнение результатов, полученных методов PIV с данными, полученными другой измерительной системой.

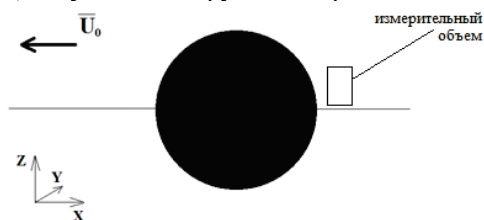


Рис. 1 – схема расположения измерительного объема относительно сферы.

Сравнение результатов измерения поля скорости, полученных с помощью системы, основанной на использовании метода PIV, и измерениях ADV (acoustic Doppler velocimetry) проводились в свободном течении за сферой в однородной жидкости. Сфера была размещена на расстоянии $h_{св.п.} = 4D$ от свободной поверхности жидкости. Измерения осуществлялись на горизонте оси движения

сферы на расстоянии $0.2D$ в сторону по оси Y (рисунок 1). Диаметр сферы составлял $D = 0.03$ м, перемещение осуществлялось со скоростью $U_0 = 0.2$ м/с, число Рейнольдса $Re = \frac{U_0 D}{\nu} = 5000$. Съёмка проводилась в двухкадровом режиме с частотой $f = 7$ Гц. Нижняя граница плоскости измерений совпадала с осью движения сферы. Плоскость светового ножа отстояла на $0.2D$ в сторону по оси Y . Размеры плоскости измерений: $L_p \times H_p = 125 \times 100$ мм².

На рисунке 2 представлено изменение продольной U_x / U_0 компоненты скорости во времени, полученное с помощью системы измерения скорости методом PIV и измерения ADV. Здесь нулевая точка отсчета соответствует моменту времени, при котором сфера вышла из кадра. Из рисунка видно, что время жизни возмущений поля скорости при $Re = 5000$ составляет порядка 36 единиц безразмерного времени, т. е. возмущения водной среды, существуют на расстоянии $36D$ за сферой. На малых временах ($t \cdot U_0 / D < 3$) можно видеть отличия в характере изменений, полученных двумя измерительными системами и их количественными значениями. В данном случае они обусловлены непосредственно самим процессом измерения ADV вблизи твердой поверхности сферы. По мере удаления сферы от измерительного объёма зафиксированы участки записи, где показания датчика ADV совпадают с данными PIV и участки, где показания ADV превышают результаты PIV.

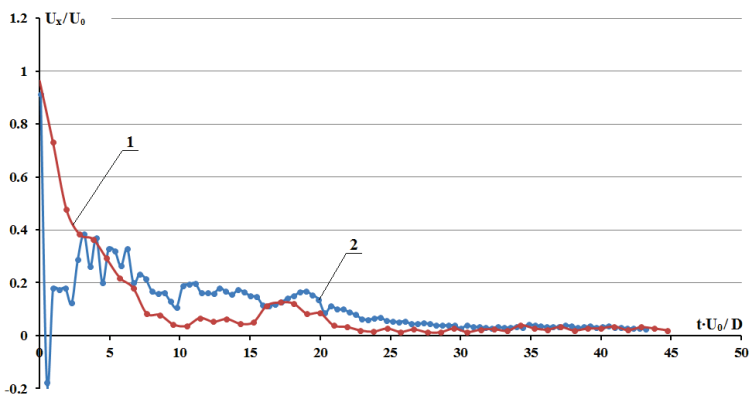


Рис. 2 – изменение продольной U_x / U_0 компоненты скорости во времени: (1) – измерения PIV; (2) – измерения ADV.

Существенным преимуществом PIV метода является получение

результатов измерения распределения поля скорости и визуализация картины течения. На рисунке 3 представлено распределение продольной и вертикальной компоненты скорости за сферой в измерительной плоскости.

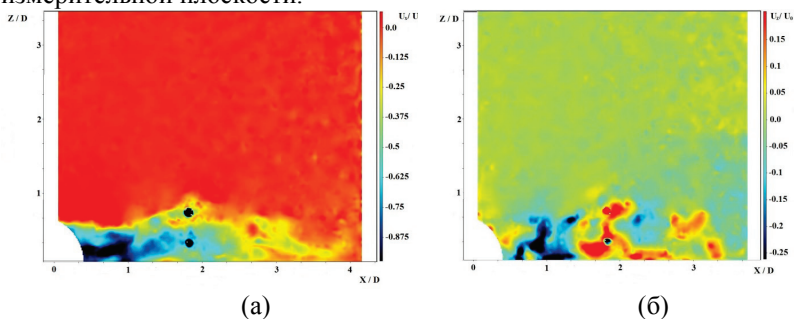


Рисунок 3 – распределение (а) - продольной компоненты скорости U_x / U_0 ; (б) - вертикальной компоненты скорости U_z / U_0 за сферой в измерительной плоскости.

Анализ распределения завихренности ω_z (рисунок 4) показывает наличие в свободном течении за сферой вихревых структур среднего (по сравнению со сферой) масштаба. Масштаб вихревых структур также демонстрирует предпочтительность использования PIV метода для измерения поля скорости в лабораторных условиях.

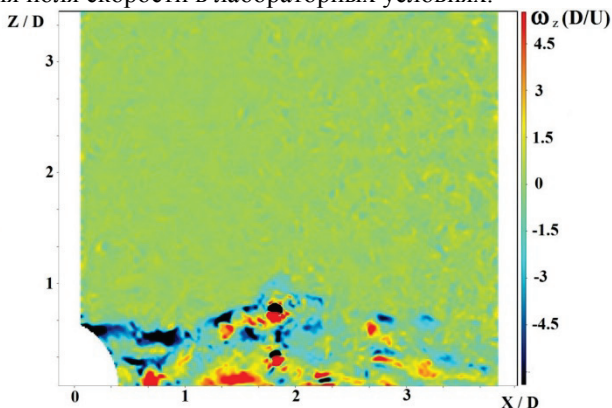


Рисунок 4 – распределение завихренности ω_z за сферой в измерительной плоскости.

В целом, результаты измерений поля скорости в течении за сферой методами PIV и ADV демонстрируют сходственные количественные результаты. При этом PIV метод имеет преимущество в части большей мгновенно охватываемой площади измерений и возможности визуализация картины течения. Развитие методов лабораторного моделирования и измерительных средств является перспективным способом получения информации о характеристиках течения для различных научно-технических приложений.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Взаимодействие фоновых внутренних волн и следа за сферой при её горизонтальном движении в стратифицированной жидкости / Владимирова Э. М. [и др.] // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2015. Т. 8, № 4. С. 85-95.
2. Wieneke B. F. PIV uncertainty quantification and beyond. Doctoral thesis. 2017.

УДК 551.468

ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ МОРЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Трусенкова О.О.¹, Лобанов В.Б.¹, Примачев Е.В.²

¹*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО
РАН,*

*Балтийская ул., 43, 690041, г. Владивосток, 8(423)2311400,
troliia@poi.dvo.ru*

²*Департамент Росгидромета по ДФО, 18, ул. Ленина, 680000, г.
Хабаровск, 8(4212) 233984*

VARIABILITY OF SEA LEVEL IN THE COASTAL NORTHWESTERN JAPAN SEA

Trusenkova O.O.¹, Lobanov V.B.¹, Primachev E.V.²

¹*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, 43, Baltiyskaya Str.,
Vladivostok, 690041*

²*Rosgidromet Department for the Far Eastern Federal District, 18, Lenina
Str., Khabarovsk, 680000*

По измерениям за 2010–2015 гг. на прибрежных гидрометеорологических станциях (ГМС) Преображение, Рудная Пристань и Сосуново, расположенных в зоне Приморского течения в северо-западной части Японского моря, проанализирована, на основе вейвлет-преобразования, изменчивость уровня моря. Впервые для этого района выявлены нестационарные колебания на временных масштабах 120–130 и 70–80 суток. Интенсивность динамических процессов синоптического масштаба оценивалась на основе мощности вейвлет-спектра, осредненного в диапазоне характерных времен жизни вихрей в этом районе (8–40 суток). Установлено, что эта интенсивность изменяется на тех же внутригодовых масштабах, что и уровень моря. До апреля – июня 2014 г. выявленная внутригодовая изменчивость была, в целом, синфазной для трех ГМС, но в конце периода наблюдений произошло рассогласование, что можно связать с асинхронным поступлением теплых вод в районы Преображения и Рудной Пристаней.

Sea level data for 2010–2015 from three Russian weather stations located along the Primorye coast in the northwestern Japan Sea were analyzed. Using wavelet transform, non-stationary sea level fluctuations with the periods of 120–130 and 70–80 days were detected. The intensity of mesoscale processes was estimated using the wavelet spectral power averaged in the 8–40 day range corresponding to eddy lifetimes in this area. Its intra-annual timescales are in phase at the three stations located more than 200 kilometers apart, which can be explain by the asynchronous advection of warm water.

Для экономического и социального развития дальневосточного региона важны океанологические исследования прибрежной зоны морей России, в том числе анализ изменчивости уровня моря – климатического индикатора и переменной, отражающей динамические процессы в морской среде. Для анализа внутригодовых колебаний уровня моря в прибрежной зоне северо-западной части Японского моря привлекались данные трех ГМС, расположенных на открытом побережье Приморского края: Преображение (42,88° с.ш., 133,89° в.д.), Рудная Пристань (44,36° с.ш., 135,84° в.д.) и Сосуново (46,54° с.ш., 138,36° в.д.). Эти станции расположены в зоне Приморского течения, которое почти полностью определяет гидрологический режим в районе наиболее северной станции Сосуново, тогда как в район Рудной Пристаней подходят также теплые воды с востока, а в район Преображения, вблизи восточной границы залива Петра Великого, и с востока, и с юга.

Использовались нормированные аномалии уровня моря с

дискретностью 2 часа за период с 1 января 2010 г. по 18 февраля 2016 г. (2240 суток). Для анализа нестационарных во времени колебаний было использовано вейвлет-преобразование (WT) с материнским вейвлетом «производная гауссиана» 9-го порядка, дающее хорошее разрешение по шкале времени и удовлетворительное по шкале периодов (рис. 1).

Наиболее интенсивными являются годовые колебания уровня моря, связанные со стерическими эффектами, в основном за счет сезонных изменений температуры, как это хорошо известно для Японского моря [1]. Имеют также место квазидвухлетние и приливные экстремумы. Годовые экстремумы на WT диаграммах продолжают на внутригодовые масштабы, описывая полугодовые, 120–130 и 70–80-суточные колебания. Полугодовые колебания регистрировались в разных районах моря по измерениям прибрежных ГМС и данным спутниковой альтиметрии [2, 3], однако колебания меньшими периодами в северо-западной части моря до сих пор не регистрировались. Выявлено хорошее соответствие колебаний в диапазонах 120–130 и 70–80 суток для трех ГМС в период от начала наблюдений до конца апреля 2014 г.: парные коэффициенты корреляции составляют 0.56–0.80.

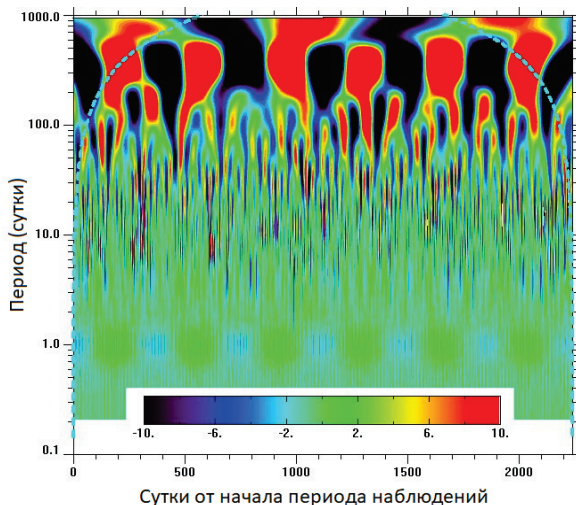


Рис. 1. WT диаграмма нормированных аномалий уровня моря на ГМС Преображение. Показан конус влияния краевых эффектов.

Колебания уровня моря в диапазоне 8–40 суток являются существенно нестационарными и, как правило, отделены от 70–80-

суточных и приливных низкими величинами WT (рис. 1). Эти масштабы соответствуют характерным временам жизни синоптических и мезомасштабных вихрей этого района [4-6]. Для оценки интенсивности вихревой динамики рассчитана мощность вейвлет-спектра ($|WT|^2$), осредненная в диапазоне 8–40 суток (P_{8-40}). P_{8-40} сглажена с окном 15 суток, что устраняет отдельные события (вихри), но позволяет выявить периоды значительной интенсивности (рис. 2; чрезвычайно мощный максимум для ГМС Рудная Пристань в августе – сентябре 2014 г., 1670–1730 сутки от начала наблюдений, включает период двухнедельного пропуска данных и не может считаться значимым). Сглаженные P_{8-40} для трех станций хорошо соответствуют друг другу в период от начала измерений до июля 2014 г.: парные коэффициенты корреляции составляют 0.47, 0.58 и 0.62. WT для временных рядов P_{8-40} для трех станций характеризуются теми же масштабами изменчивости, что и для уровня моря: квазидвухлетний, годовой, 120–130 и 70–80 суток. Таким образом, можно сделать вывод, что 120–130- и 70–80-суточная изменчивость уровня моря связана с интенсивностью динамических процессов синоптического масштаба.

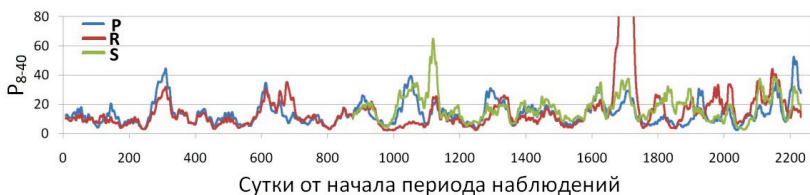


Рис. 2. P_{8-40} , сглаженная с окном 15 суток, на ГМС Преображение (P), Рудная Пристань (R) и Сосуново (S).

В докладе обсуждаются возможные причины выявленной внутригодовой изменчивости уровня северо-западной прибрежной зоны Японского моря.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 121021700346-7

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Галеркин Л.И. Непериодические колебания уровня моря // Основные черты геологии и гидрологии Японского моря. - М.: АН СССР, - 1961. - С. 192-207.
- 2 Колдунов В.В., Старицын Д.К., Фукс В.Р. Изменчивость уровня Японского и Охотского морей по данным спутниковых

альтиметрических измерений // Дальневосточные моря России: в 4 кн. Кн. 1: Океанологические исследования. - М.: Наука, 2007. - С. 184-231.

3 Трусенкова О.О., Каплуненко Д.Д. Оценка мод изменчивости уровня Японского моря по данным спутниковой альтиметрии // Океанология. - 2013. - № 3. - С. 308–316.

4 Лобанов В.Б., Пономарев В.И., Салок А.Н., Тищенко П.Я., Тэлли Л.Д. Структура и динамика синоптических вихрей северной части Японского моря // Дальневосточные моря России. Кн. 1: Океанологические исследования. - М.: Наука, 2007. - С. 450-473.

5 Ладыченко С.Ю., Лобанов В.Б. Синоптические вихри в районе залива Петра Великого по спутниковым данным // Исслед. Земли из космоса. - 2013.- № 4. - С. 315.

6 Пономарев В.И., Файман П.А., Дубина В.А., Ладыченко С.Ю., Лобанов В.Б. Синоптическая вихревая динамика над северо-западным материковым склоном и шельфом Японского моря (моделирование и результаты дистанционных наблюдений) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. - 2011. - Т.8. - № 2. - С.100-104.

УДК 551.465

МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВКЛАДА ВЕТРА В МЕЖГОДОВУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОДООБМЕНА МЕЖДУ АТЛАНТИЧЕСКИМ И СЕВЕРНЫМ ЛЕДОВИТЫМ ОКЕАНАМИ

Лебедев К.В., Филюшкин Б.Н., Щепёткин А.Ф.

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

**THE MODEL STUDY OF THE WIND STRESS IMPACT TO THE
WATER EXCHANGE INTERANNUAL VARIABILITY BETWEEN
ATLANTIC AND ARCTIC OCEANS**

Lebedev K.V., Filyushkin B.N., Shchepetkin A.F.

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospekt, Moscow, 117997*

В статье представлены некоторые результаты модельных расчетов водообмена Норвежского и Гренландского морей с Атлантическим и Северным Ледовитым океанами.

The model study of the wind stress impact to the interannual variability of the water exchange between Atlantic, Nordic Seas, and Arctic Ocean 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 особыми 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 [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 водообмена Атлантического и Северного Ледовитого океанов базируется на данных модельных расчетов 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 Арго [3] и блока модельной гидродинамической адаптации вариационно проинтерполированных полей [4]. Такая методика позволяет получать по данным измерений Арго полный набор океанографических характеристик: температуру, соленость, плотность и скорость течений.

Для изучения вклада ветрового воздействия в изменчивость расхода были выполнены две серии дополнительных численных

экспериментов [5] аналогично тому, как это делалось в работах [6-7]. В Эксперименте 1 используемые в расчетах АМИГО поля температуры и солёности были заменены их среднемноголетними аналогами (расчет для января 2005 г. проводился по среднемноголетним данным АМИГО для января и т.д.). Поля ветра при этом соответствовали реальным месяцам и сезонам (расчет для января 2005 г. проводился по данным тангенциального напряжения трения ветра за январь 2005 г. и т.д.). Это позволило оценить вклад ветра в изменчивость расхода.

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

Межгодовая изменчивость расхода на разрезе между Исландией и Норвегией проиллюстрирована на рис. 1. Анализ графиков показывает, с одной стороны, практически полное совпадение результатов численного Эксперимента 1 с исходными расчетами АМИГО, а с другой стороны, отсутствие значимой межгодовой изменчивости расходов в данных расчетов численного Эксперимента 2. При этом в изменчивости расхода имеется четко выраженная сезонная составляющая значительной амплитуды.

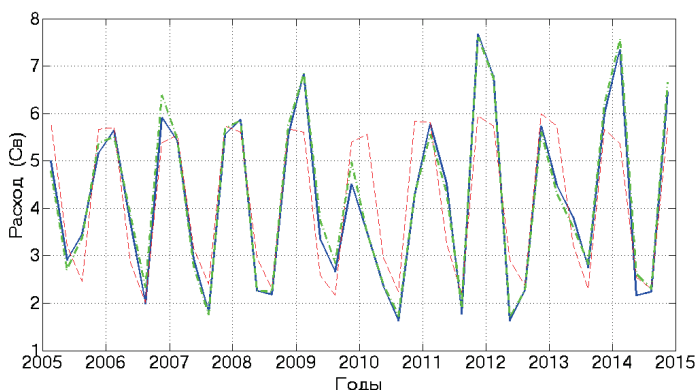


Рис. 1. Изменчивость расхода (Cv) на разрезе между Исландией и Норвегией по 64° с.ш. Результаты расчетов АМИГО представлены синей сплошной линией, результаты Эксперимента 1 - зеленой штрих-пунктирной линией, результаты Эксперимента 2 - красной штриховой линией.

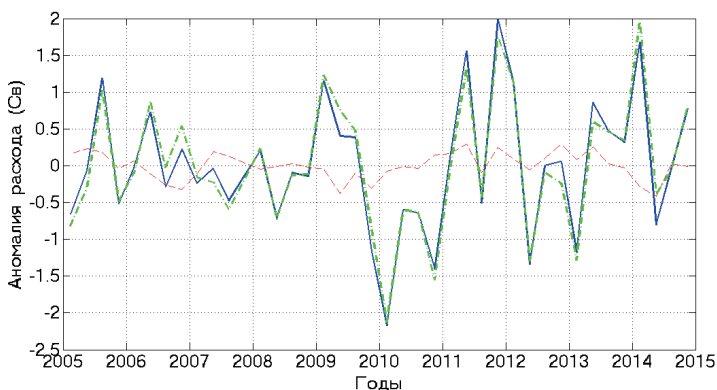


Рис. 2. Изменчивость аномалий расхода (Св) относительно среднего сезонного хода на разрезе между Исландией и Норвегией по 64° с.ш. Обозначения такие-же, как и на рис. 1.

На рис. 2 представлены графики аномалий, описанных выше расходов, полученные в результате удаления из расходов среднего сезонного хода. График изменчивости аномалий расходов в Эксперименте 1 ведет себя аналогично графику расходов по исходным данным АМИГО. На графике изменчивости аномалий расходов в Эксперименте 2 межгодовая изменчивость практически отсутствует.

Анализ результатов численных экспериментов показал, что именно изменчивость полей тангенциального напряжения трения ветра является основным фактором, определяющим межгодовую изменчивость водообмена между Атлантическим и Северным Ледовитым океанами. Результат хорошо согласуется с исследованиями влияния ветра на изменчивость океанской циркуляции [8].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-05-80089.

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.
6. Lebedev K.V., Tarakanov R.Yu. A model study of the wind stress influence on the interannual variability of the Antarctic Circumpolar Current // Russ. J. Earth Sci. 2018. V. 18. ES2002.
7. Лебедев К.В. Модельное исследование ветрового вклада в межгодовую изменчивость расхода Антарктического циркумполярного течения южнее Австралии // Океанологические исследования. 2019. Т. 47. №2. С. 172-182.
8. Иванов Ю.А., Лебедев К.В. Модельные исследования оценки вклада ветровых течений в общую циркуляцию Мирового океана // Океанология. 2003. Т.43. №6. С. 827-833.

УДК 551.465

**МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВКЛАДА ВЕТРА В
МЕЖГОДОВУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АНТАРКТИЧЕСКОГО
ЦИРКУМПОЛЯРНОГО ТЕЧЕНИЯ ЮЖНЕЕ АВСТРАЛИИ**

Лебедев К.В.

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

THE MODEL STUDY OF THE WIND-DRIVEN INTERANNUAL VARIABILITY OF THE ANTARCTIC CIRCUMPOLAR CURRENT SOUTH OF AUSTRALIA

Lebedev K.V.

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospekt, Moscow, 117997*

В статье представлено модельное исследование, посвященное изучению роли ветрового фактора в формировании межгодовой изменчивости Антарктического циркумполярного течения.

The model study of the wind stress impact to the interannual variability of the Antarctic Circumpolar Current south of Australia is presented.

Исследование изменчивости Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) базируется на результатах модельных расчетов АМИГО [1, 2], выполненных с использованием данных измерений Argo и полей напряжения трения ветра из реанализа ECMWF ERA-Interim. Модель состоит из блока вариационной интерполяции на регулярную сетку данных профилирования Argo [3-4] и блока модельной гидродинамической адаптации [5] вариационно проинтерполированных полей температуры и солёности.

Изучение роли ветра в формировании крупномасштабной океанской циркуляции показало, что значительная изменчивость полей течений и соответственно их расходов во многом связаны с нестационарным ветровым воздействием на поверхность океана [6]. Для изучения вклада ветрового воздействия в изменчивость расхода АЦТ были выполнены три серии дополнительных численных экспериментов [7] по аналогии с работой [8].

В Эксперименте 1 используемые в расчетах АМИГО поля температуры и солёности были заменены их среднеклиматическими аналогами (расчет для января 2005 г. проводился по среднеклиматическим данным января и т.д.). Поля ветра при этом соответствовали реальным месяцам и сезонам (расчет для января 2005 г. проводился по данным тангенциального напряжения трения ветра января 2005 г. и т.д.). Это позволило оценить вклад в изменчивость расхода АЦТ ветрового воздействия.

В Эксперименте 2 используемые в расчетах АМИГО поля тангенциального напряжения трения ветра были заменены их

осредненными аналогами (для января 2005 г. использовались данные температуры и солёности января 2005 г. и осредненный за январь ветер и т.д.). Целью этих расчетов была оценка вклада изменчивости термохалинных полей в изменчивость расхода АЦТ.

Контрольный Эксперимент 3 аналогичен Эксперименту 1, отличаясь от него лишь тем, что вместо среднеклиматических данных АМИГО в нем использовались данные климатических массивов Левитуса World Ocean Atlas 2009 (WOA09).

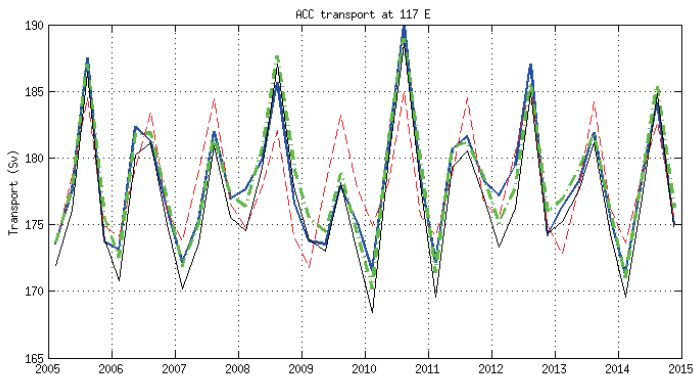


Рис. 1. Изменчивость среднесезонных значений расхода АЦТ (Св) на разрезе по 117° в.д. Результаты расчетов АМИГО представлены синей сплошной линией, результаты Эксперимента 1 представлены зеленой штрих-пунктирной линией, результаты Эксперимента 2 изображены красной штриховой линией, результатам Эксперимента 3 соответствует черная сплошная линия.

Межгодовая изменчивость АЦТ проиллюстрирована на рис. 1 графиками изменчивости расхода через разрез Австралия-Антарктида. Анализ графиков показывает, что полученная с использованием данных АМИГО изменчивость расхода АЦТ имеет четко выраженный сезонный характер с максимальными расходами зимой и минимальными летом южного полушария. В связи с тем, что большие значения сезонного хода могут маскировать межгодовую изменчивость, из всех расходов был удален сезонный ход, и весь дальнейший анализ велся с использованием рядов аномалий расходов.

На рис. 2 представлены графики аномалий, описанных выше расходов АЦТ, полученные в результате удаления среднего сезонного хода. График изменчивости аномалий расхода в Эксперименте 1, в

котором реальный сезонный ветер накладывался на средноклиматические сезонные поля температуры и солёности (зеленый штрих-пунктир), ведет себя аналогично графику расхода АЦТ по данным АМИГО (толстая синяя линия) и практически неотличим от графика из Эксперимента 3 (черная тонкая линия).

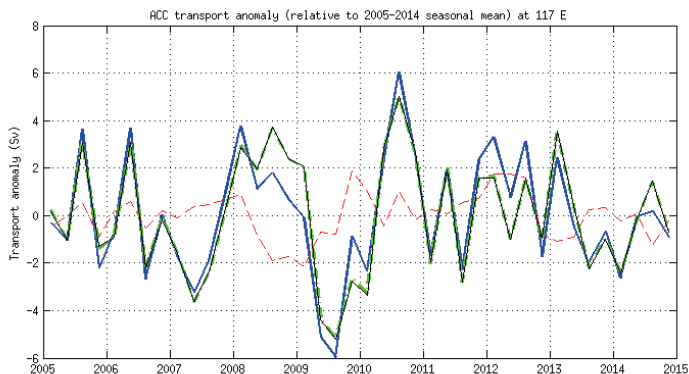


Рис. 2. Изменчивость среднесезонных значений аномалий расхода АЦТ (Св) относительно среднего сезонного хода. Обозначения такие же, как и на рис. 1.

Межгодовая изменчивость в этом варианте расчета также оказалась очень близкой к результатам из расчета АМИГО: 5 Св весной, 6 Св летом, 9 Св осенью и 12 Св зимой южного полушария. График изменчивости аномалий расхода в Эксперименте 2, где на реальные сезонные поля температуры и солёности накладывался осредненный для соответствующего сезона ветер (тонкая красная штриховая линия), заметно отличается от предыдущих расчетов слабо выраженной межгодовой изменчивостью.

Анализ результатов численных экспериментов показал, что межгодовая изменчивость термохалинных полей Южного океана оказывает слабое влияние на изменчивость расхода АЦТ в районе между Австралией и Антарктидой. Основным фактором, определяющим межгодовую изменчивость расхода АЦТ через разрез Австралия-Антарктида, является изменчивость полей тангенциального напряжения трения ветра.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0128-2021-0002), а также при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00878.

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 Курносова М. О., Лебедев К.В. Исследование изменчивости переносов в системе Курисио на 35° с.ш., 147° в.д. по данным поплавков Argo и спутниковой альтиметрии // *Докл. АН*. 2014. Т.458. №2. С. 225-228.
- 5 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.
- 6 Иванов Ю.А., Лебедев К.В. Модельные исследования оценки вклада ветровых течений в общую циркуляцию Мирового океана // *Океанология*. 2003. Т.43. №6. С. 827-833.
- 7 Лебедев К.В. Модельное исследование ветрового вклада в межгодовую изменчивость расхода Антарктического циркумполярного течения южнее Австралии // *Океанологические исследования*. 2019. Т. 47. №2. С. 172-182.
- 8 Lebedev K.V., Tarakanov R.Yu. A model study of the wind stress influence on the interannual variability of the Antarctic Circumpolar Current // *Russ. J. Earth Sci*. 2018. V. 18. ES2002.

УДК 551. 465

ГИДРОЛОГИЯ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД 2019 ГОДА

Амбросимов А.К.

*Институт океанологии им.П.П. Шириова РАН,
Москва, Нахимовский пр-кт, 36*

HYDROLOGY OF THE EASTERN SIBERIAN SEA IN AUTUMN PERIOD 2019

A.K. Ambrosimov

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospekt, Moscow, 117997*

В работе представлены результаты исследования гидрологических и гидрофизических характеристик морской среды Восточно-Сибирского моря в осенний период 2019 г.

The paper presents the results of a study of the hydrological and hydrophysical characteristics of the marine environment of the East Siberian Sea in the autumn period of 2019.

В сентябре-октябре 2019 года в Арктике была проведена многодисциплинарная экспедиция по изучению северных морей России на НИС «Академик Мстислав Келдыш». Экспедиционные исследования 2019 года арктических морей России охватывали Восточно-Сибирское, Карское и море Лаптевых (рис. 1). В последние годы, в связи с потеплением климата, открылись ото льда обширные водные пространства арктических морей России, поэтому основными целями 78-го рейса было проведение гидрофизических и гидрологических исследований в акваториях Восточно-Сибирского моря освобожденных ото льда. Впервые представилась возможность изучения этих первозданных акваторий в интересах науки и хозяйственной деятельности.

Восточно-Сибирское море неглубокое, практически, до свала глубин Северного Ледовитого океана простирается шельф с глубинами около 40 м. Дно моря перепаяно айсбергами и стамухами в разных направлениях, глубины экзарационных борозд на дне моря достигают 5-6 м. Борозды образуются в результате пропахиванием дна нагромождениями льда (стамухами). Стамухи образуются в результате торошения и наползания друг на друга многомиллионных тонн глыб льда под действием ветра и течений. Эти ледяные нагромождения могут достигать дна моря и стоять на глубинах до 100 м и более, а при движении – пропахивать дно до глубины 5-6 м. Формирование течений и термохалинной структуры вод в Восточно-Сибирском море происходит под влиянием нескольких факторов – климатического, речного стока, проникновение вод из соседних районов, сгонно-

нагонных колебаний уровня, действие которых взаимосвязано и неоднозначно во времени и пространстве. Гигантское количество пресных вод, поступающих в летний период со стоком сибирских рек в результате таяния льда, способствует возникновению специфических особенностей в вертикальном распределении плотности морских вод. Это проявляется в формировании вертикального пирога вод различной плотности, которая влияет на структуру горизонтальных течений, а также на вертикальное распределение температуры и солёности.

Изучение изменчивости гидрологических и гидрофизических характеристик Восточно-Сибирского моря проводилось с помощью гидрологического зонда SBE-19+, а течений с помощью доплеровских акустических измерителей ADV DVS-750 на океанологических станциях в дрейфе и с помощью судового ADCP на ходу судна [1].

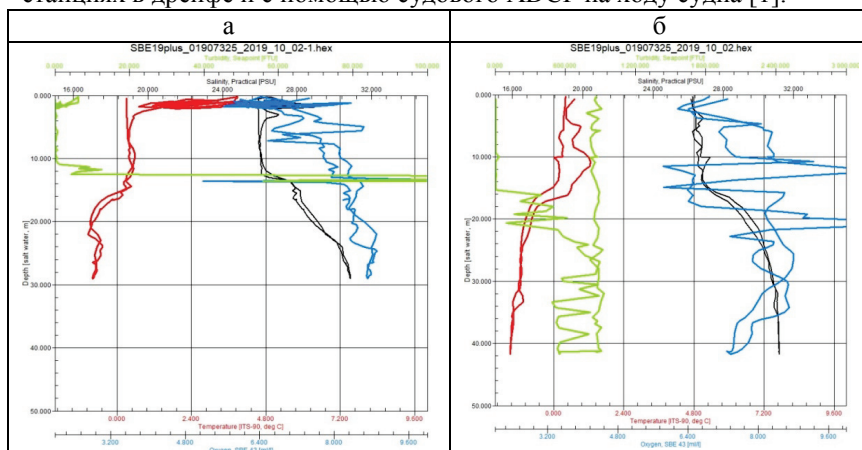


Рис. 1. Профили CTD-характеристик Восточно-Сибирского моря в начале октября 2019 г.

Типичные CTD-профили распределения гидрологических параметров Восточно-Сибирского моря в октябре 2019 г. представлены на рис. 1. Однородный перемешанный слой с температурой $\sim 0.6^\circ\text{C}$ и солёностью около 26‰ занимает слой глубиной 15 м, а придонный слой с температурой от -0.8 до -1.5°C и солёностью около 31‰ занимает глубины от 18 до 30-40 м. При интенсивном прогреве (июнь-июль) в поверхностных арктических водах может проявляться скачек плотности в приповерхностном слое на глубине 10-30 см, который исчезает в случае ледотаяния или усиления ветра [2].

Течения играют главную роль в процессах переноса водных масс, льда, взвешенного вещества и тепловой энергии. До настоящего времени, практически, не было сведений о течениях Восточно-Сибирского моря и похоже, что результаты, представленные в данной работе, являются пионерскими. Все разрезы течений, выполненные с помощью доплеровских акустических измерителей на полигонах Восточно-Сибирского моря, показали, что средние скорости потоков по всей глубине направлены в северо-западном – северном направлениях со скоростями в диапазоне 5-10 см/с (табл. 1).

Измерения скоростей и направлений течений на разрезах, выполненные с помощью судового ADCP на ходу судна, показали, что наибольшая скорость наблюдалась на мелководном разрезе вокруг о. Бенетта, где ее значения достигали 60 см/с.

Таблица 1. Параметры разрезов течений в Восточно-Сибирском море.

Файл	Дата	Н, м	Координаты начала и конца разреза		V , см/с	Напр., (φ), град.
Benetta	28.09 .2019	25	76°35'	149°03'	43-60	315-317
			74°59	160°58		
VS-009	01.10 .2019	46	74°54.2	160°56	0-8	340-357
			0	74°54		
VS-010	02.10 .2019	43-46	74°55	160°52	0-10	328-8
			74°55	160°57		
VS-011	02.10 .2019	43-46	74°54	160°55	1-7	321-357
			74°54	160°55		
VS-012	03.10 .2019	43-46	74°54	160°54	11-20	238-249
			73°04	142°15		

Отклик морей Сибирского шельфа на атмосферные процессы происходит в перераспределении вод в бассейнах арктических морей. Наряду с крупномасштабными изменениями атмосферной циркуляции, задающими генеральное направление развитию сезонных течений в арктических морях, существует синоптические колебания с временными масштабами 2-10 сут., которые определяются масштабами барических систем над морем.

Работа выполнена в рамках Госзадания (тема № 0128-2021-0004).

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Амбросимов А.К., Ковалев Г.А. Гидрология и течения Карского моря в весенне-летний период 2019 г. (43-й рейс НИС «Академик Николай Страхов») // М., Экологические системы и приборы. 2020, №1, С. 49-54.
- 2 Савельева Н.И., Семилетов И.П., Пипко И.И. Влияние синоптических процессов и речного стока на термохалинную структуру вод прибрежных зоны Восточно-Сибирского моря // Метеорология и гидрология, 2008, №4, С. 63-72.

УДК551. 465

ВКЛАД СТОКОВЫХ ВОД РЕКИ ЛЕНЫ В ГИДРОЛОГИЮ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Амбросимов А.К., Ковалев Г.А.

*Институт океанологии им.П.П. Ширинова РАН,
Москва, Нахимовский пр-кт, 36*

CONTRIBUTION OF LENA RIVER RUNOFF WATERS TO THE HYDROLOGY OF THE LAPTEV SEA

Ambrosimov A.K., Kovalev G.A.

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospekt, Moscow, 117997*

В статье представлены результаты экспедиционных исследований 78-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в море Лаптевых. Показано, что гидрологию моря в большой степени определяют стоковые воды реки Лены, эффект которых обнаруживается на расстоянии более чем 600 км от устья.

The article presents the results of expedition research conducted on the 78th voyage of the NIS "Akademik Mstislav Keldysh" in the Laptev sea. It is shown that the hydrology of the sea is largely determined by the Lena river

stock water, the effect of which is detected at a distance of more than 600 km from the mouth.

Приборы и методы наблюдений. Исследование гидрологической структуры и течений моря Лаптевых с 06 по 14 октября 2019 г.в 78-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» на океанологических станциях проводилось с помощью зондирования водной толщи гидрологическими CTD-зондами SBE19+ и судовым доплеровским акустическим профилографом течений (ADCP).

Результаты наблюдений. Измерение скорости течения на мелководном разрезе L14 длиной 241 км с глубинами 21-24 м было проведено 07–08 октября 2019 г. от эстуарии р. Лены в северном направлении (рис. 1) с помощью судового ADCP. Наблюдения показали, что на шельфе моря Лаптевых наблюдается изменчивость скорости течения с направлениями от СЗ до СВ при средней скорости около 15 см/с и выбросах до 40 см/с.

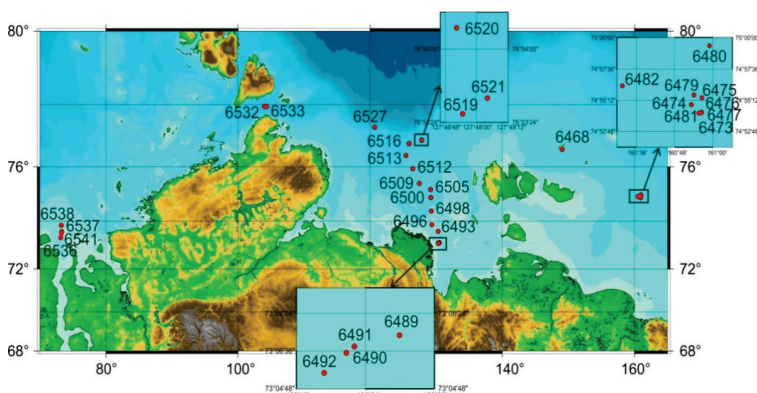


Рис. 1. Схема океанологических станций 78-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в море Лаптевых в октябре 2019 г.

CTD-зондирования, выполненные на океанологических станциях по разрезу L14 на ст.6489-6491 (рис. 2), показали довольно высокую вариабельность гидрологических характеристик от станции к станции, что в общем не удивительно, поскольку в этом районе моря происходит взаимодействие речных и морских водных масс. В среднем на этих станциях температура у поверхности моря составила около 2°C, а у дна около 0°C. На ст.6491, на глубине 10 м, непосредственно над термоклином, наблюдалось повышение температуры, которое очевидно связано с интрузией более теплых стоковых вод р. Лены. Наиболее ярко

это проявилось на ст.6493 (рис. 2а), где теплая прослойка с температурой около 3°C занимала глубину от 5 до 15 м. Температура поверхностного и придонного слоев была одинаковой - около 1.5°C, а соленость 14‰ и 31‰ соответственно. Соленость в теплой прослойке изменялась от 14‰ в ее верхней части и до 28‰ в нижней.

Разрез L15, общей длиной 152 км, был выполнен 8-9 октября 2019 года в северном и западном направлениях, характеризовался высокой изменчивостью водных потоков (рис. 2) и поэтому при расчетах условно был разбит на четыре участка. Анализ скоростей и направлений на разрезе с глубинами моря 35-47 м показал, что здесь наблюдается меандрирование потоков в различных направлениях со скоростями от 5см/с у дна до 70 см/с в верхнем слое. Скорость ветра на разрезе во время наблюдений была 5-6 м/с юго-восточного направления и к концу разреза направление ветра сменилось на западное со средней скоростью 8-10 м/с и порывами до 15 м/с. В 1 и 3 частях разреза L-15 направление течения с глубиной изменялось с северо-восточного на восточное, а во 2 и 4 частях - с западного на северо-западное.

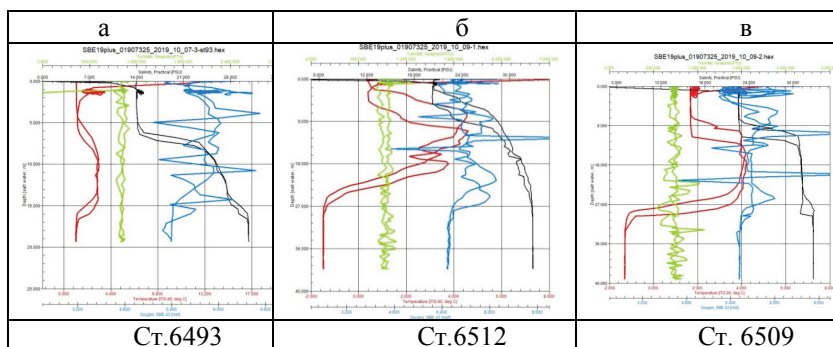


Рис. 2. Изменение термохалинной структуры вод моря Лаптевых под воздействием стоковых вод р. Лены по мере продвижения стоковых вод на север к Северному ледовитому океану (октябрь 2019 г.).

Гидрологическая структура вод разреза L15 отмечена интрузией теплых стоковых вод р. Лены под верхний перемешанный слой моря. Вначале разреза на глубинах шельфа 35-40 м теплые стоковые воды располагаются под тонким 1-метровым перемешанным слоем и занимают глубины от 1 до 22 м (рис. 2б). По мере продвижения на север теплый слой заглубляется, становится тоньше, уменьшается и его температура (рис. 2в). Если на широте 75,4° температура верхней

однородной прослойки составляла $+0.5^{\circ}\text{C}$, теплого слоя $+4.5^{\circ}\text{C}$ и придонного -1.5°C (рис. 2б), то на широте 76° с.ш. – как $+1.6^{\circ}\text{C}$, $+4.0^{\circ}\text{C}$ и -1.70°C , а на 77° с.ш., как $+1.6^{\circ}\text{C}$, $+2.1^{\circ}\text{C}$ и -1.3°C соответственно.

Распределение температуры в верхнем перемешанном слое в северном направлении на разрезе L15 увеличивается с $+0.5^{\circ}\text{C}$ на широте 75° с.ш. до $+1.6^{\circ}\text{C}$ на широтах 76 и 77° с.ш. Прекращение прогрета вод верхнего однородного слоя севернее 76° с.ш. показывает, что на этих широтах наступает баланс между теплом, поступающим с юга со стоковыми водами и холодными водами, поступающими с севера. Соленость вод в северном направлении также увеличивалась. На широте 75° с.ш. соленость верхнего перемешанного слоя составляла 18‰, в теплом слое – 24‰ и в придонном 34‰. На 76° с.ш. в верхнем однородном слое соленость составляла 23‰ и занимала глубину до 10 м, а теплая интрузия с температурой 4°C и соленостью 31‰ (рис. 2в) занимала слой от 10 до 25 м. На глубинах от 29 до 45 м располагался придонный слой с температурой -1.3°C и соленостью около 34‰. Движение теплого слоя регистрировалось в северо-восточном направлении под углом $48-60^{\circ}$, со средней скоростью около 40 см/с.

Разрезы L16 и L17 длинами 13 и 11 км были выполнены над глубинами от 340 до 450 м в зональном направлении. В верхнем слое здесь было отмечено довольно интенсивное однородное течение северо-восточного направления со скоростями около 30 см/с. На STD-профилях отмечается повышение температуры в нижней части верхнего слоя.

Северный разрез L18 протяженностью 370 км был выполнен в субзональном направлении от свала глубин моря Лаптевых до пролива Вилькицкого. Этот разрез характеризуется высокой изменчивостью глубин и течений. При входе в пролив Вилькицкого увеличилась турбулентность потока, направление течения изменялось от юго-западного до юго-восточного, что указывает на интенсивность переноса водных масс из Карского моря через пролив Вилькицкого в море Лаптевых. На каждом из участков L18 течения явно зависели от глубины моря. Так на относительно глубоководном участке L18-1 течения в верхнем слое были восточного направления со скоростями до 17 см/с. На неглубоком участке L18-2 течение развернулось в юго-восточном направлении. На третьем участке течение было также восточного направления до дна со скоростями около 12 см/с. На мелководном участке наблюдалась высокая турбулентность течения, скорости возросли до 70 см/с в северо-восточном направлении. STD-зондирование в проливе показало, что здесь от поверхности до дна наблюдается однородный по температуре слой. Это может быть

обусловлено только интенсивным перемешиванием водных масс при высоких скоростях течений и турбулентности. Высокая изменчивость течений в восточной части пролива указывает на высокую скорость переноса водных масс в восточном направлении. В результате перемешивания водных масс наблюдался однородный перемешанный слой с температурой от поверхности до дна (120 м) около -1°C и лишь на глубинах от 20 до 30 м наблюдалось повышение температуры до -0.6° , которое связано с переносом теплых стоковых вод р. Иртыш и Оби из Карского моря через пролив в восточном направлении. Соленость в верхнем 20-метровом слое составляла 31‰ и повышалась ко дну до солености атлантических вод 34.4‰.

Наблюдения, проведенные в начале октября в море Лаптевых, показали, что теплые стоковые воды р. Лены распространяются далеко на север на расстояние более 600 км, что позволяет сделать вывод об их воздействии, практически, на всю акваторию моря Лаптевых и прилегающие районы Северного Ледовитого океана. Этому способствуют – обширный шельф, малая глубина и гигантские выносы стоковых вод северных рек России. С другой стороны, холодные соленые и тяжелые воды СЛО по дну проникают далеко на юг в шельфовую зону.

Температура и соленость по разрезу в меридиональном направлении в верхнем, в промежуточном –теплом и придонном слоях составила на 75° с.ш. – 18,6‰, 29.9‰ и 32.9‰; на 76° с.ш. – 22.6‰, 31.3‰ и 33.0‰; и на 77° с.ш. как – 30.4‰, 31.6‰ и 34.1‰. Откуда видно, что на северных станциях разреза придонный слой формировался за счет поступления океанской воды.

Характерной особенностью гидрологической структуры шельфа моря Лаптевых является интрузия и расслоение стоковых вод р. Лены по глубине. STD-зондирования показали, что под однородным перемешанным слоем располагается более теплый и более соленый слой ленских вод, под которым – термоклин (ТК), а ниже – холодные и соленые океанские воды. По мере продвижения на север толщина и температура теплого слоя (ТС) значительно варьируют, изменяется его толщина, температура и заглубление (рис. 36). При удалении на север на границах соприкосновения речных и океанских вод происходит плавное выравнивание температуры теплого потока с окружающей водной средой, как по температуре, так и по солености.

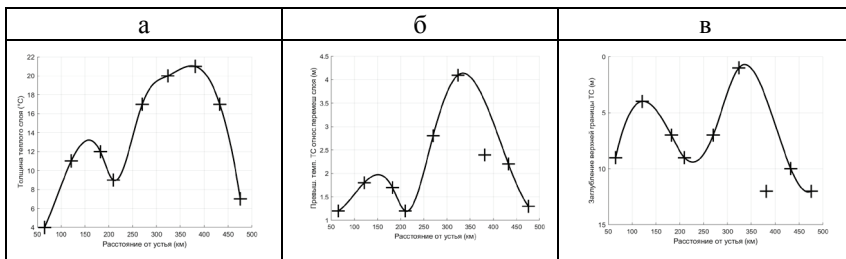


Рис. 3. Характеристики теплового слоя стоковых вод Лены в зависимости от простираания в северном направлении: а) – изменение толщины теплового промежуточного слоя; б) – превышение температуры теплового слоя над температурой верхнего однородного слоя; в) – положение верхней границы теплового слоя в толще моря.

Работа выполнена в рамках Госзадания (тема № 0128-2021-0004).

ЛИТЕРАТУРА

1. Амбросимов А.К., Ковалев Г.А. Гидрология и течения Карского моря в весенне-летний период 2019 г. (43-й рейс НИС «Академик Николай Страхов») // М., Экологические системы и приборы. 2020, №1, С. 49-54.
2. Савельева Н.И., Семилетов И.П., Пипко И.И. Влияние синоптических процессов и речного стока на термохалинную структуру вод прибрежных зоны Восточно-Сибирского моря // Метеорология и гидрология, 2008, №4, С. 63-72.

**ПОГРЕШНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ МОРСКОЙ
ВОДЫ ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ПРИ
НЕКОНТРОЛИРУЕМОЙ ОРИЕНТАЦИИ 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@gmail.com*

**ERROR IN DETERMINING THE DENSITY OF SEA WATER BY
HYDROSTATIC METHOD WITH UNCONTROLLED ORIENTATION
OF THE METER**

Fedotov G.A.

*JSC "Marine non-acoustic complexes and systems",
6, Ocyabrskaya emb., Saint-Petersburg, 193091*

Теоретически получены выражения для погрешности определения плотности морской воды с помощью новой модификации гидростатического метода при неконтролируемой пространственной ориентации измерителя. Приведены графики, иллюстрирующие полученные соотношения.

Expressions for the random error in determining the density of seawater using a new modification of the hydrostatic method in the case of uncontrolled spatial orientation of the meter are obtained theoretically. The graphs illustrating the obtained relations are given.

В данной работе продолжены исследования [1,2] предложенной ранее новой модификации гидростатического метода определения плотности морской воды [3]. В настоящее время не прекращается поиск новых методов определения плотности морской среды [4,5,6]. Отличительной особенностью метода, предложенного в [3], является совместная обработка сигналов P_i ($i = 0,1,2,3$) четырёх датчиков давления, позволяющая определить величину $G \equiv |\text{grad}P|$ (модуль

вектора градиента гидростатического давления в воде), а следовательно, и искомую плотность: $\rho = G/g$ (где \vec{g} - вектор ускорения свободного падения). При этом выходной сигнал системы датчиков давления (величина G) не зависит от ориентации этой системы в поле \vec{g} .

Аналогично [1,2], рассмотрим гидростатический 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 погрешности величин b_i одинаковы для всех трех пар датчиков давления и равны Δb . В этом случае для ΔG - погрешности определения величины G - выполняется соотношение $\Delta G = F(\varphi)\Delta b$, где функция $F(\varphi)$ приведена в [1].

В качестве источника ошибки определения ρ рассмотрим погрешность ΔG определения величины G . Пусть угол наклона системы (угол φ на рис.1) изменяется неизвестным неконтролируемым образом, но плотность распределения угла наклона $w(\varphi)$ известна. Примем для оценок $w(\varphi) = (1/2)\sin \varphi$ при $0 \leq \varphi \leq \pi$ и $w(\varphi) = 0$ при $-\pi < \varphi < 0$.

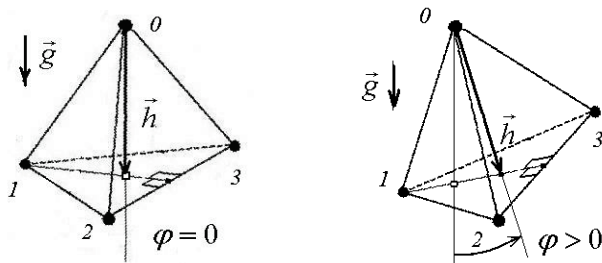


Рис. 1. Вертикальная (слева) и наклонная (справа) ориентация системы датчиков давления в поле силы тяжести.

В отличие от работы [1], в которой наиболее вероятной была вертикальная ориентация пирамиды (когда $\vec{h} \parallel \vec{g}$, $\varphi_{00} = 0$), в данной работе рассмотрена другая практически важная ситуация, а именно, когда наиболее вероятно $\vec{h} \perp \vec{g}$, $\varphi_{00} = \pi/2$. В этом случае

погрешность определения G характеризуется функцией $\Phi(\alpha)$:

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

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

График рассчитанной таким образом функции $\Phi(\alpha)$, представлен на рис.2 - кривая 1.

Для сравнения на рис.2 приведены: график функции $F(\alpha) = \Delta G / \Delta b$ для случая $\vec{h} \perp \vec{g}$ при неизменной ориентации системы в пространстве – кривая 2, а также функции $\Phi(\alpha)$ и $F(\alpha)$, полученные ранее [1,2] для случая $\vec{h} \parallel \vec{g}$ - кривые 3 и 4.

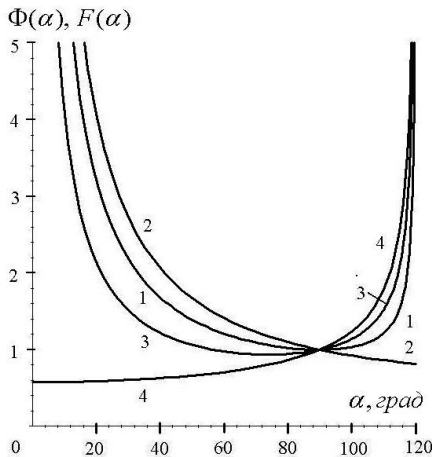


Рис. 2. Графики функций, характеризующих зависимость погрешности определения модуля вектора градиента гидростатического давления от конфигурации датчиков, образующих измерительную систему.

Пояснения в тексте.

Использование полученных алгебраических соотношений и графиков должно способствовать рациональному выбору конфигурации датчиков давления, формирующих гидростатический измеритель, с учетом конкретных условий эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федотов, Г. А. Некоторые оценки точности определения плотности морской воды гидростатическим методом. / Г. А. Федотов // Сборник материалов 15-й Международной научно-технической конференции “Современные методы и средства океанологических исследований” (МСОИ-2017). Т.1, с. 135-138. - Москва, 16-18 мая 2017. Изд-во Института океанологии РАН.
2. Федотов, Г. А. О некоторых особенностях новой модификации гидростатического метода определения плотности морской воды. / Г. А. Федотов // Труды Всероссийской конференции “Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики” (ГА-2020), с. 284-287. - Санкт-Петербург, 21-25 сентября 2020 г. - СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. - 600 с.
3. Федотов, Г. А. Новая модификация гидростатического метода определения плотности морской воды. / Г. А. Федотов // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. - 2013. - Том 6, №1. - С. 58-65. Изд-во Санкт-Петербургского научного центра РАН.
4. Гайский, П. В. Способ измерения вертикального профиля плотности морской воды и устройство для его осуществления. / П.В. Гайский // Патент России №2631017. – Оpubл. 15.09.2017. Бюл. №26.
5. Греков, А. Н. Профилографы скорости звука и алгоритм определения плотности воды для океанографического диапазона. / А. Н. Греков, Н. А. Греков, Е. Н. Сычев. // Системы контроля окружающей среды: Севастополь, Институт природно-технических систем. – 2017. - №8(28). С. 11-15.
6. Краснодубец, Л. А. Метод определения вертикального профиля плотности морской воды на основе измерения параметров движения неуправляемого автономного зонда. / Л. А. Краснодубец // Системы контроля окружающей среды: Севастополь, Институт природно-технических систем. – 2017. - №10(30). - С. 8-15.

УДК 551.465

О ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНИХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИЛ НА КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ МИРОВОГО ОКЕАНА

Серых И.В., Сонечкин Д.М.

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

ON THE IMPACT OF EXTERNAL PERIODIC FORCES ON
TEMPERATURE OSCILLATIONS OF THE WORLD OCEAN

Serykh I.V., Sonechkin D.M.

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

Обнаружено, что колебания температуры воды в Тихом, Индийском и Атлантическом океанах распространяются с востока на запад вдоль экватора с периодом 14 месяцев. Это позволяет думать, что динамика этих температур контролируется так называемыми Полусными приливами.

It was found that fluctuations in water temperature in the Pacific, Indian and Atlantic oceans propagate from east to west along the equator with a period of 14 months. This suggests that the dynamics of these temperatures is controlled by the so-called Pole Tides.

Исследовано, имеются ли в Тихом, Индийском и Атлантическом океанах крупномасштабные структуры пространственных и временных вариаций температуры воды, которые являются аналогичными структуре Глобальной атмосферной осцилляции (ГАО) [1, 2]. Для этого проанализированы ставшие доступными лишь недавно данные о распределении температуры в толщах этих океанов. Найдено, что такая аналогичность действительно имеет место (Рис. 1). Вариации температуры воды в диапазоне временных масштабов от года до примерно десятилетия оказались синхронными с соответствующими вариациями приповерхностной температуры над акваториями океанов,

свойственными ГАО [3, 4].

ГАО была найдена как сопутствующая чередованию Эль-Ниньо и Ла-Нинья в динамике океана и атмосферы в приэкваториальной полосе Тихого океана. Оказалось, что формально очень небольшие отклонения оси вращения Земли от ее номинального положения (чандлеровское колебание полюсов и лунно-солнечная нутация), а также очень небольшие периодические изменения солнечной активности, заметно воздействуют на динамику глобальной климатической системы [5, 6]. Эти воздействия осуществляются таким образом, что самые разнородные процессы, происходящие в районах Земли, зачастую весьма удаленных друг от друга, синхронизируются между собой и с процессами Эль-Ниньо – Южного колебания во временном масштабе от двух до примерно восьми лет [7, 8].

Полюсные приливы, возбуждаемые чандлеровским колебанием оси вращения Земли (главный период равен примерно 14 месяцев), распространяются с запада на восток противофазно в обоих полушариях и не только в океанах, но и в атмосфере. Потенциально они способны влиять на все крупномасштабные процессы, происходящие в глобальной климатической системе не только в тропиках, но и во внетропических широтах. Однако каковы механизмы таких воздействий было неизвестно до тех пор, пока не было показано [5], как отраженная волна северотихоокеанского Полюсного прилива способствует возникновению Эль-Ниньо.

В данной работе продемонстрировано, что вариации температуры воды в приэкваториальной зоне Тихого океана на глубинах до примерно 150 метров ведут себя так же, как вариации уровня моря и температуры водной поверхности. На глубинах от 150 до примерно 1000 метров вариации температуры воды обнаруживаю «полосчатую» структуру, не свойственную ГАО. Но общее подобие между вариациями температуры водной поверхности при ГАО и вариациями температуры воды на больших глубинах сохраняется.

Вариации температуры воды распространяются с востока на запад вдоль экватора. Одним из периодов этого восточно – западного распространения является период в 14 месяцев. Это позволяет думать, что это распространение управляется Полюсными приливами, которые, в свою очередь, вызываются чандлеровским колебанием полюсов Земли. Поверхностный северотихоокеанский Полюсный прилив был найден ранее ответственным за возбуждение Эль-Ниньо в Тихом океане [5]. Глубинные Полюсные приливы в южной Атлантике и Южном Индийском океане, по-видимому, являются триггерами атлантического Эль-Ниньо и так называемого Индоокеанского Диполя (ИД)

соответственно. При этом противофазное поведение ИД и тихоокеанского Эль-Ниньо можно объяснить 180-градусной разницей в долготах этих феноменов.

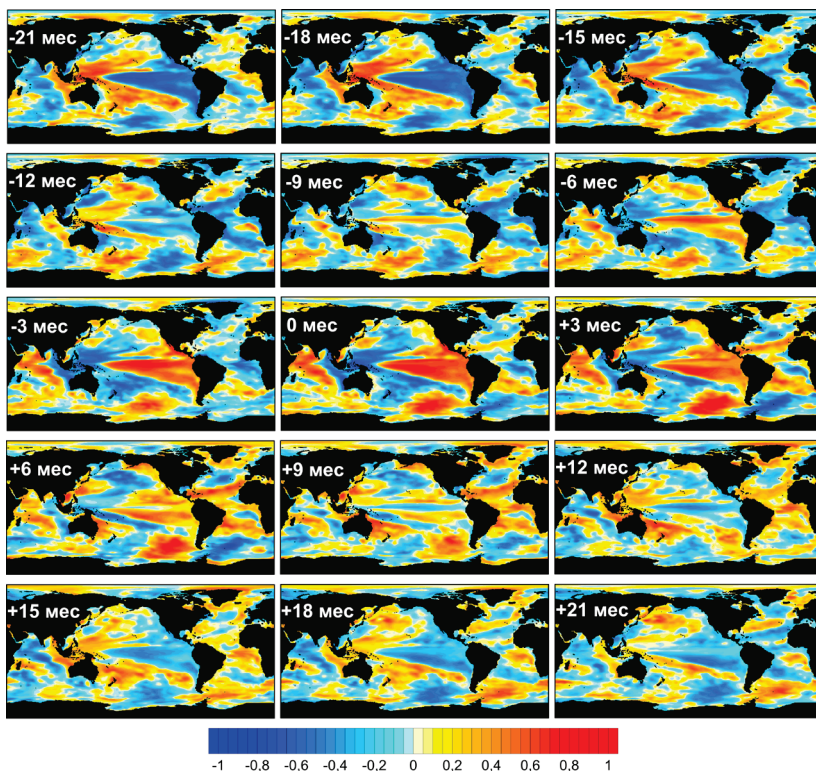


Рис. 1. Последовательность кросскорреляций внетропического индекса Глобальной Атмосферной Осцилляции (ЕГАО) с полем аномалий температуры воды на глубине 55 метров, рассчитанная для временных сдвигов от -21 (ЕГАО лидирует) до +21 месяца (температуры воды лидируют) по данным ECCO-V4r4 за 1992-2017 гг.

Основываясь на западно-восточном распространении Полюсных приливов и ГОА предложен индекс-предиктор для прогноза Эль-Ниньо и Ла-Нинья с заблаговременностью в 12 месяцев [9]. С помощью кросс-вейвлетного анализа выявлен диапазон временных масштабов, внутри которого имеют место их наиболее тесные взаимосвязи [10].

ЛИТЕРАТУРА

1. Serykh, I. V. Global Atmospheric Oscillation: An Integrity of ENSO and Extratropical Teleconnections / D. M. Sonechkin, V. I. Byshev, V. G. Neiman, Yu. A. Romanov // *Pure and Applied Geophysics*. - 2019. - Vol. 176. - No. 8. - pp 3737–3755.
2. Serykh, I. V. Interrelations between temperature variations in oceanic depths and the Global atmospheric oscillation / D. M. Sonechkin // *Pure and Applied Geophysics*. - 2020. <https://doi.org/10.1007/s00024-020-02615-9>.
3. Серых, И. В. О динамике и структуре Глобальной атмосферной осцилляции в климатических моделях и реальности // *Океанологические исследования*. - 2018. - Т. 46. - № 1. - С. 14-28.
4. Серых, И. В. Global atmospheric oscillation in troposphere and lower stratosphere / Д. М. Сонечкин, В. И. Бышев, В. Г. Нейман, Ю. А. Романов // *Системы контроля окружающей среды*. - 2018. № - 13 (33). - С. 70-78.
5. Serykh, I. V. Nonchaotic and globally synchronized short-term climatic variations and their origin / D. M. Sonechkin // *Theoretical and Applied Climatology*. - 2019. - Vol. 137. - No. 3-4. - pp 2639–2656.
6. Серых, И. В. Сопоставление временных энергетических спектров индексов Эль-Ниньо – Южного колебания и глобальных полей температуры и атмосферного давления в приповерхностном слое / Д. М. Сонечкин // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2017. Т. 2. С. 144-155.
7. Серых, И. В. Хаос и порядок в атмосферной динамике: Часть 1. Хаотические вариации погоды / Д. М. Сонечкин // *Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика*. - 2017. - Т. 25. - № 4. - С. 4-22.
8. Серых, И. В. Хаос и порядок в атмосферной динамике. Часть 2. Междугодовые ритмы Эль-Ниньо – Южного колебания / Д. М. Сонечкин // *Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика*. - 2017. - Т. 25. - № 5. - С. 5-25.
9. Вакуленко, Н. В. Хаос и порядок в атмосферной динамике. Часть 3. Предсказуемость Эль-Ниньо / И. В. Серых, Д. М. Сонечкин // *Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика*. - 2018. - Т. 26. - № 4. - С. 75-94.
10. Serykh, I. V. El Niño forecasting based on the global atmospheric oscillation / D. M. Sonechkin // *International Journal of Climatology*. - 2020. <https://doi.org/10.1002/joc.6488>.

УДК 634.67

**ИЗМЕРЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
(БПЛА) ДЛЯ ЗАДАЧ ОКЕАНОЛОГИИ: НЕКОТОРЫЕ
ПРИЛОЖЕНИЯ**

**Кубряков А.А., Лишаев П.Н., Юровский Ю.Ю., Плотников Е.В.,
Кориненко А.С., Новиков Б.Н., Станичный С.В.**

*Морской гидрофизический институт РАН,
Ул. Капитанская, 2, 299011, г. Севастополь,
8(798)74-11-045, arskubr@ya.ru*

**MEASUREMENTS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV) FOR
OCEANOLOGY TASKS: SOME APPLICATIONS**

**Kubryakov A.A., Lishaev P.N., Yurovsky Yu.Yu., Plotnikov E.V.,
Korinenko A.S., Novikov B.N., Stanichny S.V.**

*Marine Hydrophysical Institute RAS, str. Kapitanskaya, 2, 299011,
Sevastopol*

В работе представлен опыт использования данных беспилотного летательного аппарата (БПЛА) для исследования некоторых динамических процессов в морской среде:

The paper presents the experience of using data from an unmanned aerial vehicle (UAV) to study some dynamic processes in the marine environment.

Наиболее частым наблюдающимся процессом является поверхностное волнение. Данные БПЛА позволяют на основе спектрального анализа яркости определять пространственное распределение длин и направлений волн, оценивать их фазовые скорости. Видеосъёмка в стационарном режиме дает возможность определять трансформацию полей волнения. Анализ дисперсии волн позволяет определить вклад скорости течений в их перемещение, что дает возможность восстанавливать поля скорости течений со сверхвысоким разрешением (несколько метров)

В работе такой подход был использован для восстановления скорости малого прибрежного синоптического антициклона диаметром

около 300м. Анализ показал, что скорости такого антициклона превышали 0.2 см/с, а число Россби было порядка 100, что свидетельствовало о его значительной нелинейности.

Видеонаблюдения в условиях интенсивных ветров позволяют наблюдать обрушения волн, определять их размеры, форму и скорости. Это дает возможность оценить связь характеристик волн и обрушений, в частности определить лямбда-функцию обрушений на акваториях измерений достаточно большого охвата, позволяя уточнить параметризацию диссипации волнения

Важным процессом, хорошо заметным в измерениях БПЛА, являются прибрежные выносы взвешенного вещества. При подходящих метеоусловиях потоки взвеси траассируют различные динамических структуры: субмезомасштабные вихри, грибовидных течения, струи. Наиболее часто эти процессы наблюдаются в районах топографических особенностей – мысов, бухт. Данные БПЛА позволяют определять характеристики этих структур с разрешением в несколько сантиметров, отслеживать их динамику на коротких периодах времени. На основе измерений БПЛА у побережья Крыма зафиксировано несколько субмезомасштабных вихрей диаметром до 1 км. Исследована структура этих вихрей в поле взвеси. В частности, показано, что вихри захватывают взвесь от берега и аккумулируют её в свое ядро. При этом на периферии таких кросс-шельфовых потоков и самих вихрей из-за неустойчивости наблюдается развитие периодических структур размерами 50-100 м. Использование методов оптического потока (optical flow) также позволяет рассчитывать скорости со сверхвысоким разрешением, в частности, определять орбитальные скорости вихрей малых масштабов.

Измерения БПЛА позволяют наблюдать за особенностями динамики фронтальных зон, в частности, их влияние на волновые процессы

Измерения БПЛА на мелководье позволяют картировать распределения бентосных водорослей, а анализ спектров яркости (в RGB) дает возможность определять батиметрию региона с высоким разрешением. В работе представлены примеры восстановления карты бентосных водорослей и глубин дна в районе Северного Крыма.

Измерения БПЛА позволяют наблюдать за различными загрязнениями морской поверхности, включая слики различной природы, нефтяные загрязнения, распространения канализационных стоков. В работе представлены примеры динамики этих загрязнений в различных районах Крыма.

Измерения БПЛА могут предоставлять важную поддержку для других океанографических измерений. Они позволяют скорректировать маршруты судовых экспедиций в режиме реального времени, что дает возможность осуществлять гидрологические измерения в районах с наиболее интересными динамическими особенностями. Кроме этого они дают возможность обнаруживать подповерхностные буи, даже в условиях низкой освещенности.

Исследование субмезомасштабных вихрей по данным БПЛА и судовых съемок выполнено при поддержке гранта РФФИ 19-05-00479, изучение волновых процессов по данным БПЛА выполнено при поддержке гранта РФФИ 19-05-00752

УДК 551.465.4

ГЕНЕРАЦИЯ И ПОДДЕРЖАНИЕ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ФРОНТАЛЬНЫХ ЗОН В ТОЛЩЕ ВОД ОКЕАНА КОНВЕКЦИЕЙ СОЛЕВЫХ ПАЛЬЦЕВ

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*

**GENERATION AND MAINTENANCE LARGE-SCALE FRONTAL
ZONES IN THE OCEAN WATER COLUMN BY SALT FINGER
CONVECTION**

Pereskokov A.I.

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

Установлена планетарная фронтогенетическая роль интенсивной дифференциально-диффузионной конвекции (двойной диффузии) в режиме солевых пальцев в толще вод океана, что является безусловно новым и заслуживающим внимание результатом.

The planetary frontogenetic role of intense differential-diffusion convection

(double diffusion) in the salt finger regime in the ocean water column is established, which is certainly a new and noteworthy result.

Несмотря на то, что современный арсенал знаний, полученный благодаря “...широко развернутому научному наступлению на проблемы океанического фронтотенеза...” [4, с. 11], представляется довольно значительным, необходимой ясности не только в вопросе о конкретных механизмах, способствующих зарождению и поддержанию основных фронтальных зон океана планетарного масштаба, но даже в принципах их выделения нет и сейчас.

Традиционная описательная океанография представляла океанические фронты как зоны схождения (конвергенции) течений или поверхности раздела между крупномасштабными водными массами с максимальными горизонтальными градиентами различных свойств вод. Достижения последних лет в исследовании связи мелкомасштабных и крупномасштабных процессов в океане позволяют по-иному и, на наш взгляд, более объективно подойти к решению этого вопроса.

Настоящая статья, являющаяся естественным развитием предыдущей работы автора [1], посвященной формированию океанического термохалоклина, представляет собой попытку воссоздать его комплексную трехмерную крупномасштабную структуру, позволяющую получить ответы на этот и подобные ему вопросы.

Господствующее в физической океанологии представление о том, что диапикнический перенос тепла, солей, биогенов, растворенных газов и т. д. в силу высокой гидростатической устойчивости пикноклина (и термоклина) не должен, казалось бы, играть значительной роли, в последние годы оказалось существенно исправленным [2, 3]. Более того, нами [1] обнаружены очень важные и неоспоримые свидетельства, ***подтверждающие доминирующую роль двойной диффузии в виде ячеистой конвекции “солевых пальцев” в формировании и поддержании главного термохалоклина*** – мощного инерционного аккумулятора тепла в океане. Теперь, например, уже можно говорить, что океанический термохалоклин возникает в случае интенсивного режима этой конвекции, т.е. когда безразмерное плотностное соотношение, характеризующее относительный вклад дестабилизирующего компонента солености и стабилизирующего компонента температуры в вертикальную стратификацию плотности, достигает критических значений $R_p^{KP} \leq -0.52$. Вместе с этими свидетельствами пришло понимание того, что изучение горизонтальной структуры термоклина может пролить свет на тесное взаимодействие структуры и динамики вод океана.

В связи с этим попытаемся связать представление о пространственной неоднородности вертикального тепло- и массопереноса, осуществляемого механизмом двойной диффузии непосредственно в толще вод океана, с концепцией фронтогенеза. Для этого применительно к северной части Атлантического океана на основе статистической обработки всей доступной информации впервые сопоставлены поля горизонтальных градиентов температуры (и солености) в толще вод с полем плотностного соотношения.

Выполненные оценки свидетельствуют о том, что периферии областей с благоприятным для интенсивной работы солевых пальцев плотностным соотношением и зоны максимальных горизонтальных градиентов температуры в толще вод Северной Атлантики соответствуют друг другу удивительно хорошо. Это подтверждает правомерность идеи, что планетарные фронтальные зоны в океане – один из эффектов проявления ускоренного тепло- и массопереноса за счет двойной диффузии. Заметим, что качественные изменения горизонтальной термохалинной структуры происходят скачком, при этом “спусковым курком” служит понижение R_p до пороговых значений. Таким образом, анализ пространственной изменчивости плотностного соотношения может быть полезным методическим приемом при изучении структуры и динамики вод океана, позволяющим исключить субъективизм при выделении климатических фронтальных зон.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перескоков А.И. Влияние конвекции в режиме солевых пальцев на структуру океанического термохалоклина // Океанология. 2019. Т. 59. № 6. С. 913-919. DOI: 10.31857/S0030-1574596913-919.
2. Перескоков А.И., Федоров К.Н. Дифференциально-диффузионная конвекция в толще вод океана как климатообразующий фактор // Докл. АН СССР. 1985. Т. 285. № 1. С. 229-232.
3. Перескоков А.И., Федоров К.Н. Вентиляция вод термоклина океана конвекцией типа солевых пальцев // Докл. АН СССР. 1989. Т. 309. № 1. С. 192-196.
4. Федоров К.Н. Физическая природа и структура океанических фронтов. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 296 с.

УДК 532.517

**РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИИ ОТКРЫТЫХ
НЕРАВНОВЕСНЫХ ДИССИПАТИВНЫХ
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Соколов В.А.

Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова

**RESULTS OF APPLICATION OF THE THEORY OF OPEN NO
EQUILIBRIUM DISSIPATIVE THERMODYNAMIC SYSTEMS IN
OCEANOGRAPHIC RESEARCH**

Sokolov V. A.

State Oceanographic Institute named after N. N. Zubov

Доказывается применимость теории открытых неравновесных диссипативных термодинамических систем (теории) к океанографическим исследованиям, что позволило:

1. Получить отсутствующее в океанографии описание функциональности водных масс в морских водах;
2. Дать новую физическую трактовку TS анализа, в которой экстремумы TS диаграмм соответствуют точкам бифуркации системы морских вод;
3. Показать, что применение при моделировании процессов в морских водах приближения Бусинеска не позволяет получить адекватное природе описание вертикальной плотностной конвекции в морских водах.

The applicability of the theory of open non equilibrium dissipative thermodynamic systems to oceanographic studies is proved, which allowed:

1. Get a description of the functionality of water masses in marine waters that is not available in oceanography;
2. Give a new physical interpretation of the analysis, in which the extremes of the TS diagram correspond to the points of bifurcation of marine waters;

3. To show that the use of the Bossiness approximation in modeling processes in marine waters does not allow us to obtain an adequate description of vertical density convection in marine waters.

Кратко излагаются основные положения теории открытых неравновесных диссипативных термодинамических систем (ТОНДТС). Показывается, что введённым в этой теории понятиям диссипативных структур и траекториям термодинамических систем в их фазовых пространствах в морских водах соответствуют водные массы (ВМ) [1,2] и TS диаграммы [2]. Доказывается применимость этой теории [3,4] 115в исследованиях морских вод в условиях их многомодальных статистических распределений (присутствие в районах морских исследований нескольких ВМ).

Результатом применения ТОНДТС в морских исследованиях является:

1. Получение определения отсутствующей в океанографии функциональности ВМ, связанной с их участием в формировании пространственной структуры морских гидрологических полей и транспортировке по объёму морских вод результатов их взаимодействия с внешней средой (атмосферой);
2. Новая физическая трактовка TS анализа и установление соответствия экстремумов на TS диаграммах точкам бифуркации [4,5], в которых смена состояния термодинамической системы морских вод происходит в условиях минимального производства их энтропии, которая может быть использована при верификации полученных результатов;
3. Обоснование невозможности адекватного природе описания вертикальной плотностной конвекции в морских водах при использовании приближения Бусинеска [5,6].

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Добровольский А. Д. Об определении водных масс – Океанология, 1961, т. 1 вып. 1 с. 12-24.
2. Мамаев О.И. Термохалинный анализ вод Мирового океана. Л, Гидрометеоиздат, 1987, 296 с.
3. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М, Мир, 1973, 280 с.
4. Пригожин И., Кондипуди Д. Современная Термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур. Москва, Мир, 2002, 461 с.

5. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Курс теоретической физики. Т. 6. Гидродинамика. - М.: Наука. - 1988.-736 с
6. Дианский Н.А. Моделирование циркуляции океана, Москва, Физматлит, 2013, 271 с.

УДК 551.465

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЛЬТРА ЛАНЦОША ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ ЗОНДА-ПРОФИЛОГРАФА «АКВАЛОГ»

Подымов О.И., Островский А.Г.

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

POST-PROCESSING OF THE AQUALOG PROFILER DATA WITH THE LANZCOS FILTER

Podymov O.I., Ostrovsky A.G.

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

В статье представлен краткий анализ результатов обработки фильтром Ланцоша длинных рядов данных течений, полученных при помощи двух заякоренных зондов-профилографов «Аквалог» в 2016–начале 2017 г. в северо-восточной части Черного моря в районе Геленджика.

The paper provides a brief analysis of applying the Lanczos filtering to the data of long-term observations, performed by two Aqualog profilers in 2016 – beginning of 2017 in the north-eastern Black Sea near the town of Gelendzhik.

Были проанализированы длинные ряды данных, полученные в 2016–начале 2017 г. при помощи двух заякоренных зондов-профилографов «Аквалог» [1], установленных на шельфовом склоне в северо-восточной части Черного моря около Геленджика, примерно в 5

морских милях от берега. Два прибора, далее обозначенные как «Аквалог-4» и «Аквалог-6», проработали в указанный период соответственно 292 и 127 дней, с перерывами на техническое обслуживание. Частота работы Аквалога-4 составляла 1 профиль каждые 6 часов, Аквалога-6 – каждые 2 часа.

Поскольку в исследуемом районе доминируют течения вдольбереговой направленности, превышающие поперекбереговую компоненту течений примерно на порядок, первичные данные течений были при обработке повернуты на 50° на запад (с учетом текущего магнитного склонения), чтобы северная компонента течения была направлена вдоль берега. Таким образом, вместо северной и восточной компонент течения был сделан переход к вдоль- и поперекбереговой компонентам.

Перед использованием фильтрации данные надо было привести к равномерной сетке, решив вопрос с лагунами, неизбежно возникающими из-за аппаратных сбоев и сильных течений, заглубляющих подповерхностную плавучесть. Лагуны внутри профиля были закрыты при помощи сплайновой интерполяции методом Акимы [2]; отсутствующие данные на границах отдельных профилей были заменены на линейную интерполяцию по данным соседних профилей; в лагуны на краях сетки, где интерполяция невозможна, было подставлено арифметическое среднее по конкретному горизонту.

К равномерной сетке, выполненной в поле глубины с шагом 1 м и в поле условной плотности (σ_θ) с шагом 0.01 кг/м^3 , был применен фильтр Ланцоша [3, 4]. После ряда экспериментов с окнами в 14, 8 и 5 дней, было решено остановиться на окне в 6 суток, как наиболее подходящем для четкого выделения расположенных в пикноклине инерционных колебаний. Было обнаружено, что частота профиля один раз в 6 часов, использованная для настроек Аквалога-4, недостаточна для адекватного представления инерционных колебаний, проявляющихся на высокочастотном фильтре. Хотя увеличение частоты профилирования пропорционально увеличивает расход заряда батарей, и, как следствие, заметно снижает длительность автономной работы зонда-профилографа, представляется, что это необходимая мера для проведения подобных исследований. Тем не менее, было обнаружено, что данные установленных друг от друга на расстоянии 7.5 км Аквалога-4 и Аквалога-6 имеют очень высокую корреляцию, и обработка низкочастотным фильтром Ланцоша дает для них очень похожую картину.

Сравнение фильтра Ланцоша с популярным в океанографии методом фильтрации при помощи скользящего среднего (рис. 1)

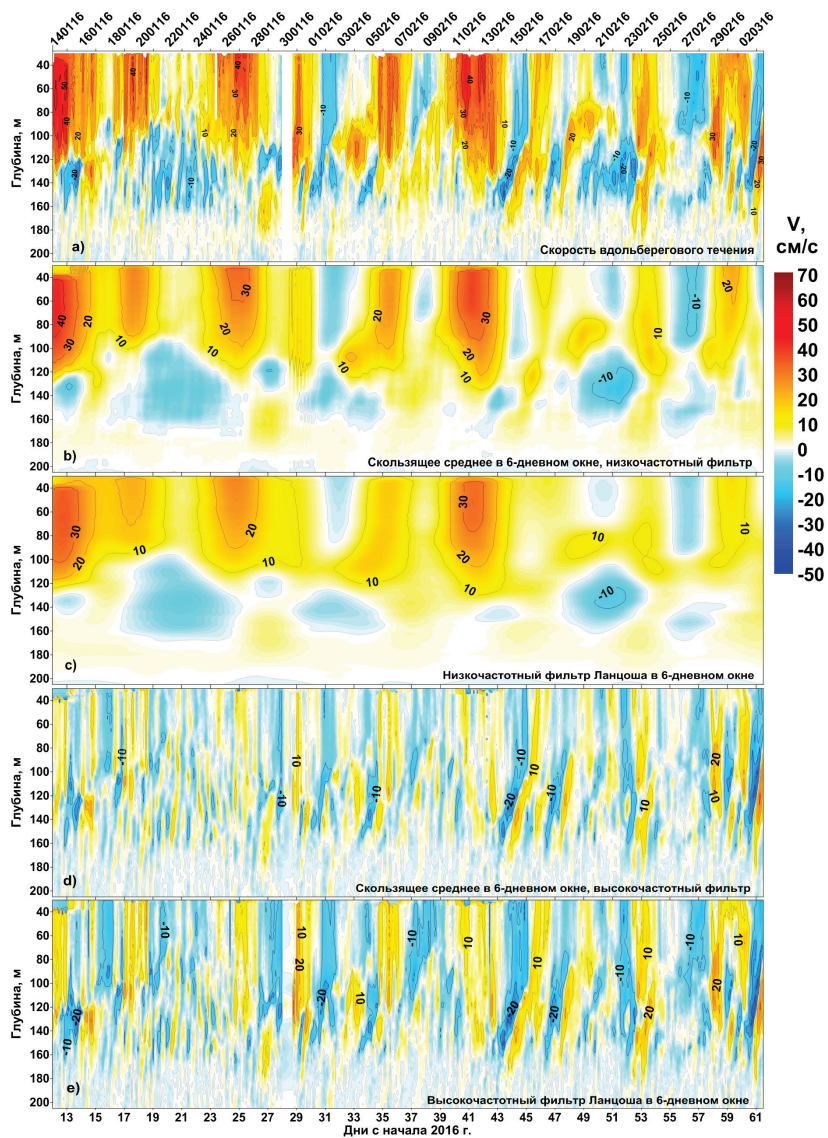


Рис. 1. Сравнение данных Аквалага-6 (вдольбереговое течение, рис. а) с результатами фильтрации в 6-дневном окне: низкочастотным (b) и высокочастотным (d) плавающим средним; низкочастотным (c) и высокочастотным (e) фильтром Ланцоша.

показало, что последний дает более грубый результат, хуже устраняя вклад высокочастотных составляющих сигнала при использовании низкочастотного фильтра, и, как следствие, заметно занижая результат высокочастотной фильтрации, которая обычно получается при вычитании низкочастотного сигнала из первоначальных данных. Анализ поперекбереговой компоненты течений не выявил каких-то выраженных закономерностей, поэтому основное внимание было сосредоточено на рассмотрении вдольбереговой компоненты течений.

На основе данных, полученных Аквалогом-6, было обнаружено, что инерционные колебания достигают изопикны 15.9–16.1, т.е. нижней границы аэробной зоны.

Низкочастотный фильтр Ланцоша был также использован для оценки фоновых условий по устойчивости на верхней и нижней границе условного ХПС (слоя температурного минимума), а также в его ядре, для чего был проведен анализ динамики частоты плавучести (N^2). Результаты были сопоставлены с динамикой слоя температурного минимума. Было обнаружено, что в весенний период слой температурного минимума находится чуть выше слоя с максимумом N^2 , в то время как летом и осенью эти слои практически совпадали.

Анализ данных зимнего периода показал, что слой температурного минимума в эти месяцы сильно уходит на глубину, опускаясь ниже слоя максимума N^2 и колеблясь между глубинами 120–190 м (изопикны 15.2–16.0), что заметно отличается от привычных представлений о ядре ХПС как о слое условной плотности между изопикнами 14.4 и 14.8.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00459.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Островский А.Г. Автономный мобильный аппаратно-программный комплекс вертикального зондирования морской среды на заякоренной буйковой станции / Островский А.Г., Зацепин А.Г., Соловьев В.А. и др // *Океанология*. – 2013. – № 53(2). – С. 259-268.
2. Akima, H. A method of bivariate interpolation and smooth surface fitting for irregularly distributed data points // *ACM Transactions on Mathematical Software*. – 1978. – Vol. 4. – P. 148-159.
3. Duchon E. Lanczos Filtering in One and Two Dimensions // *J. Appl. Meteorology*. – 1979. – Vol. 18(8). – P. 1016-1022.

4. Emery W.J. Data Analysis Methods in Physical Oceanography / Emery W.J., Thompson R.E. // Data Analysis Methods in Physical Oceanography. - Elsevier Science. – 2001. – 654 p.

УДК 504.064.37

**МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ
ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ
МРАМОРНОГО МОРЯ**

**Медведева А.В., Станичный С.В., Алескерова А.А., Василенко Н.В.,
Кубряков А.А.**

*ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН»
2, ул. Капитанская, 299011, Севастополь, Российская Федерация,
+7(8692)54-52-41, Shift@mail.ua*

**MULTISPECTRAL METHODS FOR STUDYING PROCESSES AND
PHENOMENA IN THE SURFACE LAYER OF THE MARMARA SEA**

**Medvedeva A.V., Stanichny S.V., Aleskerova A.A., Vasilenko N.V.,
Kubryakov A.A.**

*FSBSI FRC «Marine Hydrophysical Institute of RAS», 2 Kapitanskaya Str.,
Sevastopol, 299011 Russian Federation*

В работе рассматриваются процессы и явления в поверхностном слое Мраморного моря, анализ которых осуществляется по спутниковым радиолокационным и оптическим данным высокого и среднего разрешения.

The paper considers the processes and phenomena in the surface layer of the Marmara Sea, which are analyzed using satellite radar and optical data of high and medium resolution.

Пространственные структуры, формируемые динамическими процессами, могут быть зарегистрированы датчиками дистанционного зондирования за счёт следующих факторов:

-адвекция или конвекция вод с отличающимися параметрами (оптические свойства, температура, ледяной покров). Регистрируется

спутниковыми сенсорами MODIS Aqua, MODIS Terra, VIIRS Suomi-NPP, AVHRR NOAA, OLI и TIRS Landsat-8, MSI Sentinel-2,.

-изменение шероховатости морской поверхности и характеристик волнения на фронтальных зонах, в зонах сдвига течений. Фиксируются сенсорами C-SAR Sentinel-1, OLI Landsat-8, MSI Sentinel-2.

-концентрация поверхностных плёнок в зонах конвергенции течений (C-SAR Sentinel-1, OLI Landsat-8, MSI Sentinel-2).

В качестве объекта исследования выбрано Мраморное море – акватория, включенная в систему водообмена в цепи «Черное-Мраморное-Эгейское моря» через Босфорский пролив и пролив Дарданеллы. Малые размеры моря (наибольшая протяженность – менее 300 км) в значительной степени определяют особенности формирования и развития ряда процессов. В частности, большое влияние на физико-химические и биооптические характеристики оказывает Верхнебосфорское течение, которое осуществляет транспорт черноморских вод.

Исследование характеристик динамических и иных процессов в поверхностном слое Мраморного моря (распространение Верхнебосфорского течения и халинный апвеллинг, вихревые структуры, внутренние волны, экстремальные цветения фитопланктона, деятельность грязевых вулканов) осуществлялась с использованием оптических изображений высокого разрешения (MSI Sentinel-2, OLI Landsat-8 – 10 м и 15 м соответственно), среднего (VIIRS Suomi-NPP, MODIS Aqua, MODIS Terra) и радиолокационных (C-SAR Sentinel-1), поля ветра анализировались по данным NCEP с 6-часовой дискретностью.

В оптическом диапазоне высокого разрешения динамические процессы выявлялись по трем типам изображения для одной ситуации: RGB-композицы; комбинация каналов, устраняющая поверхностную шероховатость и оставляющее компоненту подповерхностного излучения (для данных MSI Sentinel-2 – B03 (560 нм), B04 (665 нм) и B08 (842 нм)), ближний ИК-диапазон (для данных MSI Sentinel-2 – B08 (842 нм)). При работе с данными среднего разрешения также выявление осуществлялось на основе значений температуры поверхности. Радиолокационные данные позволяли определять тот или иной процесс в условиях слабого ветра, хотя проявление Верхнебосфорского течения обнаруживалось и при иных метеоусловиях.

С влиянием ветра тесно связаны интенсивность распространения и направление Верхнебосфорского течения на выходе из Босфорского пролива. Преимущественно распространение осуществляется на юг или юго-запад, реже – вдоль восточного или западного берега. Расстояние

переноса варьирует от первых километров до 50-70 км при северных и северо-восточных ветрах высоких скоростей.

Численные характеристики Верхнебосфорского течения (а также вихрей, внутренних волн и иных процессов) получались на основе анализа последовательных изображений на масштабах до 500 метров с сенсоров C-SAR Sentinel-1, OLI Landsat-8, MSI Sentinel-2, на более крупных масштабах – MODIS Aqua, MODIS Terra, VIIRS Suomi-NPP.

В теплое время года, когда в Черном море формируется сезонный термоклин, Верхнебосфорское течение на выходе из пролива уверенно выделяется инфракрасных изображениях (MODIS Aqua, MODIS Terra, VIIRS Suomi-NPP), по разнице температур (черноморские воды холоднее) в 1-3⁰С и более. Данное явление – халинный апвеллинг – связано с перемешиванием над- и подтермоклинных черноморских вод во время транспорта по Босфорского проливу, и последующий подъем к поверхности осуществляется из-за меньшей плотности этих вод.

Различия в плотностях водных масс, создаваемых переносом в акваторию Мраморного моря черноморских вод, провоцирует генерацию внутренних волн. Поверхностные проявления внутренних волн обнаруживаются преимущественно в центральной части бассейна и в непосредственной близости от Верхнебосфорского течения, гораздо реже – в прибрежных районах (особенно – западной половины моря).

Вихревые структуры в Мраморном море имеют диаметр в среднем до 10-20 км, формируются преимущественно в прибрежных зонах. В центральном районе бассейна вихревые структуры развиваются в связи с влиянием Верхнебосфорского течения и могут достигать в диаметре 30-35 км.

Экстремальное цветение фитопланктона (основываясь на данных дистанционного зондирования – кокколитофоридов и иных видов) в Мраморном море или юго-западной части наблюдалось в конце весны и начале лета. Так, за пятилетний период (с 2016 по 2020 гг.) выраженные случаи цветения в юго-западной части Черного моря регистрировались с апреля по июнь в 2016 г., с мая по июль в 2017 г., в июне и июле в 2019 г., в мае 2020 г. В Мраморном море без вклада черноморских вод цветение наблюдалось с мая по июль 2018 г. и с мая по июнь 2019 г.

В случае, когда цветение фитопланктона развивалось первоначально в Черном море, по RGB-композициям и отдельно по данным канала на длине волны 551 нм (VIIRS Suomi-NPP) выявлялось высокое содержание биомассы фитопланктона на выходе из Босфорского пролива в Мраморном море. В 2016 и 2017 гг. поступление вод с высоким содержанием фитопланктона привело к развитию цветения фитопланктона в Мраморном море, в 2019 и 2020 гг.

интенсивного цветения в мраморноморском бассейне не наблюдалось. В остальных случаях, когда цветение первоначально развивалось в Мраморном море, поступление черноморских вод со сниженным содержанием биомассы фитопланктона также выявлялось по RGB-композициям и значениям концентрации хлорофилла-а.

Работа выполнена в рамках государственных заданий 0555-2021-0003 и 0555-2021-0006, а также при поддержке грантов РФФИ 19-05-00752 А и 19-05-00479 А.

УДК 504.064.37

ОСОБЕННОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ И АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПО ОПТИЧЕСКИМ И РАДИОЛОКАЦИОННЫМ СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

**Станичный С.В., Кубряков А.А., Медведева А. В.,
Алескерова А.А., Станичная Р.Р., Василенко Н.В.**

*ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН»
2, ул. Капитанская, 299011, Севастополь, Российская Федерация,
(+78692545065, sstanichny@mail.ru)*

SPECIFIC FEATURES OF DETECTION AND ANALYSIS OF DYNAMIC PROCESSES OF THE SURFACE LAYER BY OPTICAL AND RADAR SATELLITE DATA

**Stanichny S.V., Kubryakov A.A., Medvedeva A. V.,
Aleskerova A.A., Stanichnaya R.R., Vasilenko N.V.**

*FSBSI FRC «Marine Hydrophysical Institute of RAS», 2 Kapitanskaya Str.,
Sevastopol, 299011 Russian Federation*

В работе рассматриваются особенности и факторы проявления и существования динамических и иных процессов (вихри, внутренние волны, пленочные загрязнения) морской поверхности при анализе оптических и радиолокационных спутниковых изображений.

The paper considers the specific features and factors of manifestation and existence of dynamic and other processes (eddies, internal waves, oil

pollution) of the sea surface on the base of optical and radar satellite images analysis.

Выявление различных процессов в морской среде (вихревые структуры, волны и т. д.) и их дальнейший анализ основывается на ряде факторов, таких как выбор канала оптического сенсора в спектральном интервале, условия наблюдения (положение спутника в момент фиксации, характеристики ветра и т. д.), а также – существование структуры при наличии или отсутствии самого процесса.

Изображениями высокого (MSI Sentinel-2, OLI Landsat-8 и др.) и среднего (MODIS Aqua, MODIS Terra, VIIRS Suomi-NPP и др.) разрешения формируются комбинацией отраженной компоненты и компоненты восходящего из воды рассеянного излучения. Первая определяется геометрическими и отражательными (при наличии плёночных загрязнений) характеристиками границы раздела, тогда как вторая – характеристиками гидрозолей (взвешенного вещества, хлорофилла-а и т. д.). И при сопоставлении геометрических характеристик с характеристиками гидрозолей в ряде случаев один и тот же процесс может проявляться с существенными различиями (вплоть до присутствия на одних длинах волн и отсутствия – на других). Соответственно, для более полного исследования явлений и процессов оптимально использовать как сумму указанных компонент, так и разницу, которая позволяет устранить тот или иной зашумляющий фактор.

Возможность обнаружения явления (например, пленочного загрязнения, сликсов как индикаторов вихревых структур и т. д.) зависит также от взаимного расположения спутника и солнца: при наблюдении поверхности в случае, близкому к зеркальному отражению, области со пониженной шероховатостью имеют увеличенную яркость суммарного излучения (положительный контраст); при схожем угле солнечного излучения и вне зоны зеркального отражения эти же области имеют отрицательный, при нахождении в зоне инверсии контраста явление может вовсе не обнаруживаться.

Выявление вихревых структур по оптическим изображениям также может осуществляться на основе комбинации отраженной и излученной компонент. Проявление возможно, как при многоканальном подходе (RGB-композицы), так и исключительно при использовании одной из них формирующих компонент. (проявление только в гидрозолях или только в шероховатости).

Нередко вихревые структуры не обнаруживаются в оптическом спектре, но фиксируются датчиком радиолокационного комплекса (С-

SAR Sentinel-1) по наличию пленочных формирований, видимость которых имеет зависимость от ветровых условий. Пленочный механизм хорошо проявляется при умеренных ветрах, но не работает в штилевых условиях или при сильных ветрах.

Использование квазисинхронных спутниковых изображений (интервал зондирования одного района варьирует от минут до часов) выявляет три стадии развития вихря: орбитальная скорость вихря превышает скорость его смещения по ходу геострофического течения, орбитальная скорость сравнивается со скоростью смещения, и – орбитальная скорость становится значительно меньшей по сравнению со скоростью смещения. Таким образом, если в начальной стадии (высокая орбитальная скорость) существует непосредственно сам вихрь, то в дальнейшем проявляется только его структура.

Обнаружение внутренних волн базируется на создании ими структуры конвергентно-дивергентных течений, которые способны, в свою очередь, изменять физические характеристики поверхности. Механизмы, обеспечивающие проявление внутренних волн, разнообразны: обрушение, концентрация пленочных образований, пена, изменение геометрических характеристик. Но в отдельных ситуациях встречаются и нетипичные механизмы. В частности, обеспечение проявления за счет вовлечения в процесс мутных прибрежных вод (при взаимодействии с дном) и модуляция толщины рассеивающего слоя вод.

Привлечение квазисинхронных изображений высокого разрешения позволяет дополнить анализ выявленных волн не только геометрическими характеристиками, но и кинематическими – то есть, скорость и направление распространения.

Работа поддержана грантами РФФИ 19-05-00752 и 18-45-920065 в рамках гос. задания 0555-2021-0003

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕЧЕНИЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ
ПРИГЛУБОГО ШЕЛЬФА ЧЕРНОГО МОРЯ, ПО ДАННЫМ
СТАЦИОНАРНО ЗАКРЕПЛЕННОГО ADCP**

**Химченко Е.Е.¹, Серебряный А.Н.^{1,2}, Попов О.Е.³,
Кенигсбергер Г.В.⁴**

¹*Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН, Нахимовский пр., 36,
117997, г. Москва, 8(499)124-61-49, ekhym@ocean.ru*

²*АО "Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева"
ул. Шверника, д. 4, 117036, г. Москва*

³*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
Пыжевский переулок, д.3, 119017, г. Москва*

⁴*Институт экологии Академии наук Абхазии
ул. Красномаяцкая 67, 384900, г. Сухум*

**VARIABILITY OF THE CURRENTS IN THE COASTAL ZONE OF THE
BLACK SEA DEEP SHELF, ACCORDING TO THE DATA OF
ANCHORED ADCP**

Khimchenko E.E.¹, Serebryany A.N.^{1,2}, Popov O.E.³, Kenigsberger G.V.⁴

¹*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

²*Andreyev Acoustics Institute, Shvernika st., 4, Moscow, 117036;*

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

⁴*Institute of Ecology of the Academy of Sciences of Abkhazia,
Krasnomayatskaya st., 67, Sukhum, 384900*

Представлен анализ временной изменчивости режима течений в районе приглубого шельфа северо-восточной части Черного моря осенью 2020 г. Проведено сравнение новых данных с предыдущими наблюдениями. Выявлена взаимосвязь между положением термоклина и преобладающим направлением течений.

An analysis of the temporal variability of the currents in the area of the deep

shelf of the northeastern part of the Black Sea in autumn 2020 is presented. The comparison of new data with previous observations is presented. The correlation between the position of the thermocline and the prevailing direction of the current is revealed.

В данной работе анализируются временные ряды многосуточных измерений течения на крутом шельфе Черного моря, полученные в сентябре-октябре 2020 г. Наблюдения велись посредством ADCP «Rio Grande 600 kHz», установленным «смотрящим вниз» на стационарном морском павильоне Института экологии АНА (г. Сухум, Абхазия). Также во время работ проводились измерения фоновых характеристик морской среды - температуры, солёности и скорости звука.

Мониторинг гидрофизической изменчивости черноморских вод на акватории у м. Красный маяк проводится с 2013 г (Серебряный и др., 2017). Преобладающим направлением течений здесь является северо-западное со средней скоростью 0,3–0,4 м/с, однако в отдельные периоды наблюдается его усиление до 1 м/с. Смена ориентации течения на юго-восточное происходит преимущественно во время прохождения вдоль берега субмезомасштабных антициклонических вихрей.

В наблюдениях 2020 г также отмечался характерный для всего черноморского побережья бимодальный режим течений в виде частого последовательного чередования направления течений с северо-западного на юго-восточное и наоборот. При этом чаще всего происходила интенсификация вновь установившегося течения. Продолжительность существования юго-восточного течения составляла 5–7 ч, а преобладание северо-западного устанавливалось на период 9–12 ч. При этом средняя скорость юго-восточного течения усиливалась до 0,2 м/с, а северо-западного – до 0,25 м/с. На рис. 1 представлен пример смены направления течений происходившей в 2020 г.

Сопоставление данных температурных колебаний с изменчивостью режима течений показало, что каждый период понижения температуры и смещения термоклина вверх наблюдался при доминировании юго-восточного течения, а повышение температуры и заглубление термоклина происходило во время интенсификации северо-западного течения.

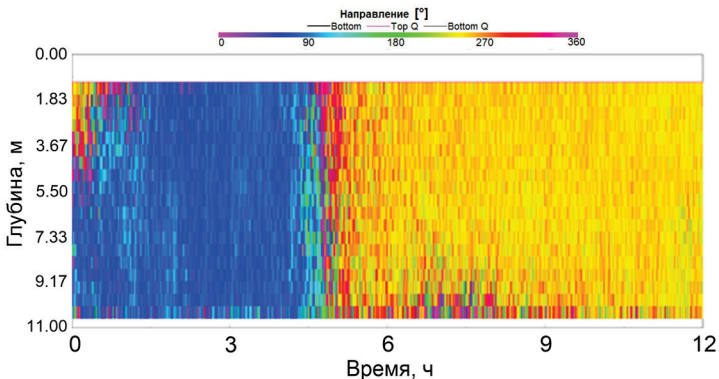


Рис. 1. Направленность течений по данным ADCP для участка записи 30 сентября – 1 октября 2020 г., когда происходила смена юго-восточного течения на северо-западное.

Работа выполнена в рамках темы Госзадания № 0128-2021-0010, обработка и анализ данных выполнены при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00715, а также гранта Президента РФ МК-5064.2021.1.5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серебряный А.Н., Кенигсбергер Г.В., Елистратов В.П., Сабинин К.Д., Попов О.Е., Свядковский А.Н., Тарасов Л.Л., Денисов Д.М., Химченко Е.Е., Чекайда В.Н. Акустическая диагностика гидрофизической изменчивости на абхазском шельфе Черного моря // Ученые записки физического факультета Московского университета. – 2017. – Т. 5. – 1750130.

ВЛИЯНИЕ ГЛУБОКОЙ КОНВЕКЦИИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОСТЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Новоселова Е.В.¹, Федоров А.М.^{1,2}, Белоненко Т.В.¹

¹ *Санкт-Петербургский государственный университет,
Университетская наб., 7/9, 199034, г. Санкт-Петербург, spbu@spbu.ru*

² *Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и
дистанционному зондированию имени Нансена», 14-я лин.
В.О., 7, 199034, г. Санкт-Петербург, 8(812)324-51-01,
adm@niersc.spb.ru*

INFLUENCE OF DEEP CONVECTION ON THE ISOSTERIC SURFACES DISTRIBUTION

Novoselova E.V.¹, Fedorov A.M.^{1,2}, Belonenko T.V.¹

¹ *St. Petersburg State University, 7/9 Universitetskaya Emb., St. Petersburg,
199034*

² *Scientific Foundation “Nansen International Environmental and Remote
Sensing Centre”, 14th Line 7, Office 49, St. Petersburg, 199034*

В статье исследуются изостерические поверхности в Лофотенской котловине на основе океанического реанализа GLORYS12V1 за период 1993 – 2018 гг. Проанализирована взаимосвязь между поверхностями и глубокой конвекцией в данном регионе.

The article examines isosteric surfaces in the Lofoten Basin based on the GLORYS12V1 oceanic reanalysis for the period 1993 - 2018. The relationship between these surfaces and deep convection in the region is analyzed.

Лофотенская котловина представляет собой понижение в рельефе дна Норвежского моря с максимальной глубиной 3250 м [1]. Главной особенностью котловины является антициклонический квазипостоянный Лофотенский вихрь в её центре, проявляющийся в виде замкнутой области повышенных значений температуры, солёности и других параметров [2].

Помимо вихревой адвекции и латерального перемешивания,

частицы воды могут перемещаться в котловине из-за неоднородности горизонтальной и вертикальной стратификации. Горизонтальная адвекция частиц без участия внешних сил происходит по изопикническим поверхностям. Изопикнические поверхности дают представление о изопикнической адвекции и перемешивании, а также диапикнических процессах в акватории. Перемещение частиц в стратифицированной жидкости не всегда происходит вдоль изопикнических поверхностей, однако такая тенденция обусловлена законом сохранения потенциальной энергии. Перемещаясь по изопикнам, частицы минимизируют потери энергии из-за сил плавучести.

На основе океанического реанализа GLORYS12V1 за период 1993 – 2018 гг. было проведено исследование термохалинных характеристик и динамики вод с помощью изопикнических поверхностей в Лофотенской котловине Норвежского моря. Были вычислены аномалии удельного объёма в Лофотенской котловине, глубины залегания изостерических поверхностей и определены значения термохалинных характеристик на них, получены качественные оценки изопикнической адвекции и диапикнического перемешивания, а также проанализирована связь с глубокой конвекцией в данном регионе.

Было показано, что максимальное заглубление изостерических поверхностей происходит в центре Лофотенской котловины, где наблюдается квазипостоянный Лофотенский вихрь, и прослеживается до глубины 1500 – 2000 м. При этом поверхности наиболее заглублены в летний и осенний период. Заглубление изостерических поверхностей ($\sigma_t > 1$) также значительно на континентальном склоне, при этом чем выше расположена поверхность, тем больше угол её наклона. Это связано с проходящей в прибрежной области восточной ветвью Норвежского течения (NwASC), переносящей тёплые и солёные воды. Это заглубление прослеживается до глубин 700 – 750 м. В западной части котловины наблюдается взаимосвязь между наклоном изостер и донной топографией: при резком повышении рельефа, угол наклона изостер также возрастает. Рассчитанные максимумы глубин изостерических поверхностей s31, s21 и s07 в среднем больше на 100 – 300 м, чем это отмечалось в более ранних исследованиях [3].

Установлено, что изостерические поверхности в Лофотенской котловине заглубляются в направлении с запада на восток. Это, а также вихревая адвекция, которая происходит в противоположном направлении, приводит к увеличению продолжительности нахождения атлантических вод в котловине и усилению ее роли как теплового резервуара в регионе. Изопикническая адвекция и диапикническое

перемешивание в Лофотенской котловине играют значительную роль в процессах, определяющих котловину как основной тепловой резервуар субарктических морей.

На протяжении любой -поверхности температура и солёность изменяется слабо. Таким образом, воды в Лофотенской котловине равномерно стратифицированы, не смотря на кажущуюся неоднородность при рассмотрении характеристик в x - y - z координатах. Наиболее тёплые и солёные воды Северо-Атлантического течения на изопикнических поверхностях наблюдаются не на востоке или юге, где протекает само течение, а на северо-западе котловины. При этом, чем глубже залегает изопикническая поверхность, тем больше температурный максимум смещается на север. Это связано с дипикнической адвекцией и термохалинным парадоксом: тёплые воды в результате некоторого охлаждения и изменения плотности опускаются на более глубокую изопикническую поверхность, принося с собой тепло на новый горизонт.

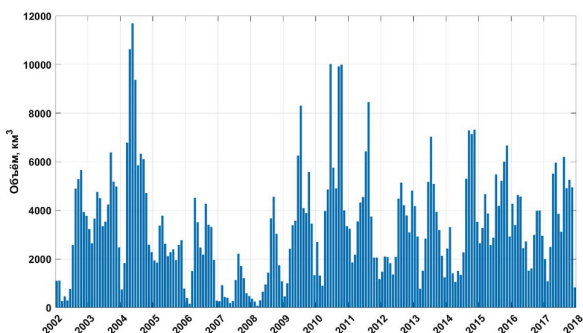


Рис. 1. Объём воды, ограниченный изостерической поверхностью s_{07} и изобатой 1000 м (в км³)

Как уже говорилось ранее, в центре Лофотенской котловины происходит опускание изопикнических поверхностей, что, вероятно, связано с увеличением объема более лёгких поверхностных и промежуточных атлантических вод. Чтобы оценить величину этого заглубления, мы вычислили приблизительный объём воды, ограниченный поверхностью s_{07} и изобатой 1000 м, разбив область на несколько столбов жидкости. Интенсивная конвекция зимой 2010 года проявилась в увеличении объёма воды, ограниченного поверхностью s_{07} и изобатой 1000 м. Аномальное увеличение объёма наблюдается в 2004 году, однако этот год, к сожалению, не охвачен наблюдениями

Argo. Также аномальное увеличение объема зафиксировано в 2011 годах, поле интенсивных конвективных событий в декабре 2010 года. Увеличение объема поверхностных и промежуточных атлантических вод происходит вследствие конвекции, вытесняет нижележащие воды, заглабляя поверхность s07.

Таким образом, циркуляция и донная топография бассейна, наклон изостерических поверхностей, благоприятствующий изопикнической адвекции на юго-восток, вихревая адвекция в противоположном направлении и особенности диапикнического перемешивания определяют значение Лофотенской котловины как мощного теплового резервуара региона.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта СПбГУ № 75295423

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Белоненко, Т.В., Волков, Д.Л., Норден, Ю.Е., Ожигин, В.К. Циркуляция вод в Лофотенской котловине Норвежского моря // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. - 2014. - №2. - С. 108–121.
2. Белоненко, Т. В., Колдунов, А. В., Сентябов, Е. В., Карсаков, А. Л. Термохалинная структура Лофотенского вихря Норвежского моря на основе экспедиционных исследований и по данным гидродинамического моделирования // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. - 2018. - № 63(4). - С. 502–519.
3. Rosaby, T., Ozhigin, V., Ivshin, V., Bacon, S. An isopycnal view of the Nordic Seas hydrography with focus on properties of the Lofoten Basin // Deep-Sea Research I. - 2009. - № 56(11). - P. 1955-1971.

УДК 534.26

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОКУСИРОВАННЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В МЕЛКОМ МОРЕ

**Смирнов И.П., Калинина В.И., Малеханов А.И., Хилько А.И.,
Сидоров К.А.**

Федеральный исследовательский центр “Институт прикладной физики РАН”, ул. Ульянова, 46, 603950, г. Н. Новгород, 8(831)416-46-61, v.kalinina@ipfran.ru

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF USING FOCUSED ACOUSTIC FIELDS TO CONSTRUCT IMAGES OF LOCALIZED INHOMOGENEITIES IN A SHALLOW SEA

Smirnov I.P., Kalinina V.I., Malekhanov A.I., Khilko A. I., Sidorov K.A.

Federal Research Center Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, 46 Ulyanov Street, Nizhny Novgorod, 603950

В работе представлены некоторые результаты расчетов вероятности подводного акустического наблюдения, полученных с помощью модели лучевого описания акустического поля. Для фокусировки лучевых траекторий осуществляется пространственная селекция парциальных томографических проекций, образованных отдельными лучевыми траекториями для каждой пары излучающей и приемной антенн, и некогерентное накопление достигаемых с их помощью парциальных решений (изображений наблюдаемой неоднородности). Такая обработка позволяют существенно повысить качество оценки параметров неоднородности.

The paper presents some results of calculations of the probability of underwater acoustic observation obtained using the model of the beam description of the acoustic field. To focus the ray trajectories, the spatial selection of partial tomographic projections formed by separate ray trajectories for each pair of radiating and receiving antennas is carried out, and the incoherent accumulation of partial solutions achieved with their help (images of the observed inhomogeneity) is carried out. Such processing can significantly improve the quality of estimation of inhomogeneity parameters.

Построение изображений и оценка параметров неоднородностей канала представляет собой обратную задачу, в которой важным аспектом является подавление в принимаемых сигналах вкладов тех компонент (пучков), которые характеризуются наибольшим затуханием и, следовательно, обладают наименьшей помехоустойчивостью на фоне различного рода шумов и помех [1, 2].

В настоящей работе анализируется возможный облик системы акустического наблюдения локализованной неоднородности

(рассеивающего объекта) в виде абсолютно жесткого эллипсоида, помещенного в подводный звуковой канал рефракционного типа. Численное моделирование выполнено для системы, состоящей из вертикальных излучающей и приемных решеток, расположенных в характерных условиях открытого к поверхности канала мелкого моря в частотном диапазоне от 5 до 7 кГц и имеет бистатическую схему постановки [3]. Рассматриваются вопросы повышения качества оценки параметров объекта путем регуляризации решения обратной задачи и оптимизации управляемых характеристик системы наблюдения.

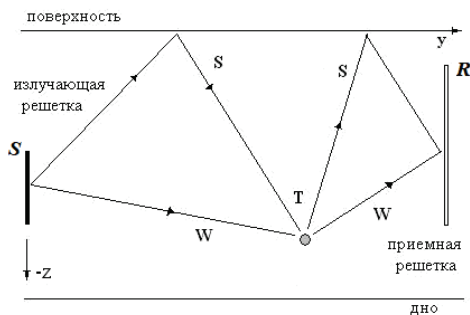


Рис. 1. Схема формирования лучевых траекторий в случае разнесенных излучающей и приемной решеток.

Схема высокочастотного акустического наблюдения в случае расположения приемной антенны на некотором удалении от источника показана на рис. 1. Излучающая решётка возбуждает поля с максимальной интенсивностью акустической подсветки в области вероятного нахождения наблюдаемого объекта, при этом приёмная решётка должна быть методом сканирования сфокусирована в ту же область, куда направлено сфокусированное поле подсветки. Поле акустического давления в точке размещения каждого гидрофона приёмной антенны будет являться суперпозицией суммарного давления прямого сигнала акустической подсветки от всех излучателей, давления, отраженного от наблюдаемого объекта и суммарного давления помех, которые складываются из аддитивных шумов моря и ревербераций, формирующихся при рассеянии сигнала случайными неоднородностями, расположенными в толще жидкости, на поверхности и дне. При расчете рассеянного заданным объектом поля ограничимся точками бликов для определения силы цели, что соответствует приближению геометрической акустики [1, 4].

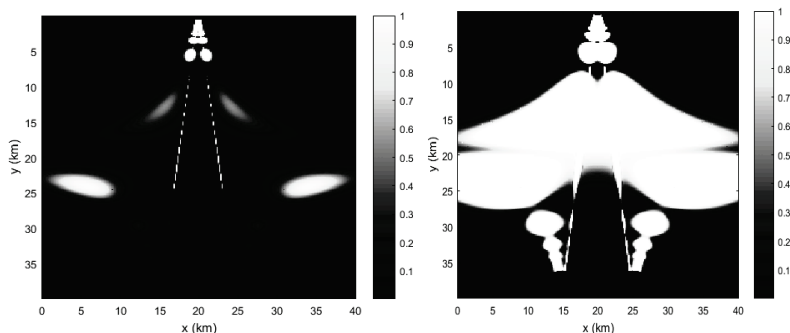


Рис. 2. Слева – суммарная вероятность подводного акустического наблюдения, когда излучающая решетка состояла из 2 излучателей; справа – суммарная вероятность подводного акустического наблюдения, когда излучающая решетка состояла из 16 излучателей.

Эффективность фокусировки поля можно оценить при сравнении зон достоверного наблюдения в рефракционном волноводе для двух случаев: а) короткая антенна из двух излучателей (без фокусировки) (рис. 2, слева), б) длинная антенна из 16 излучателей (при использовании согласованной с волноводом фокусировки) (рис. 2, справа). Из расчетов суммарной вероятности оценки положения эллипсоида (рис. 2) с накоплением лучевых проекций, видно, что при использовании в решетке одного – двух излучателей фокусировка практически невозможна. В случае, когда излучателей в решетке было 16 шт., когда возможна фокусировка поля в водную компоненту, в каждую точку расположения эллипсоида, область достоверного наблюдения возрастает примерно, в пять раз. Следует заметить, что конфигурация и параметры вычисленных зон высокой вероятности оценки положения эллипсоида будут меняться при вариациях используемых параметров расчета. При анализе рассматривалась система, состоящая из двух пространственных траекторий и четырех лучевых траекторий, которые формировались при использовании водных и отражённых от поверхности пучков. Расчёты показали, что наилучшее пространственное разрешение достигается при совместном использовании всех четырех лучевых траекторий и некогерентном накоплении парциальных решений, принимаемых по каждой из траекторий. Для повышения пространственного разрешения при наблюдении следует в качестве зондирующих использовать сложные импульсные сигналы. Пространственное разрешение в этом случае будет определяться длиной импульсных объёмов, сжатых в результате

применения согласованной фильтрации. Уточнение положения эллипсоида может быть достигнуто селекцией сигналов при временном стробировании задержек, соответствующих отдельным импульсным объёмам.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 20-19-00383).

ЛИТЕРАТУРА

1. Нечаев, А.Г. Дифференциальная акустическая диагностика случайных неоднородностей океана / А. Г. Нечаев, А. И. Хилько // Акустический журнал. - 1988. - Т. 34, № 2. - С. 285-289
2. Зверев, В.А. Экспериментальные исследования дифракции звука на движущихся неоднородностях в мелководных условиях / В. А. Зверев, П. И. Коротин, А. Л. Матвеев, В. В. Митюгов, Д. А. Орлов, Б. М. Салин, В. И. Турчин // Акустический журнал. - 2001. - Т. 47, № 2. - С. 227-237
3. Смирнов, И.П. Моделирование высокочастотных акустических полей, рассеянных на телах в рефракционных волноводах / И. П. Смирнов, А. А. Хилько, А. И. Хилько // Известия вузов. Радиофизика. - 2004. - Т. XLVII. - №2. - С. 111-128.
4. Бреховских, Л. М. Теоретические основы акустики океана / Л. М. Бреховских, Ю. П. Лысанов. - М. : Наука, 2007. - 370 с.

УДК 551.46

АВТОНОМНЫЙ ПРОЗРАЧНОМЕР ПУМ-200

Артемиев В.А., Таскаев В.Р., Григорьев А.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
artemiev195@yandex.ru*

AUTONOMOUS TRANSPARENCY METER PUM-200

Artemiev V.A., Taskaev V.R., Grigoriev A.V.

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

В статье представлен разработанный и изготовленный в лаборатории оптики океана ИО РАН новый автономный универсальный прозрачномер. Прибор предназначен для исследования вертикальной структуры показателя ослабления света морской водой в большом динамическом диапазоне.

The article presents a new autonomous universal transparency meter developed and manufactured at the Ocean Optics Laboratory of P.P. Shirshov Institute of Oceanology. The device is designed for study the vertical structure of the light attenuation coefficient of seawater in a large dynamic range.

Прибор предназначен для измерения показателя ослабления и температуры в зависимости от глубины погружения в автономном режиме (Рис. 1.). При создании прибора были использованы оптическая схема и компоновка, отработанные на прозрачномерах ПУМ и ПУМ-А [1], которые были запатентованы в 2006 году [2]. Также, как и предшественники, прибор позволяет проводить измерения на разных оптических базах: у ПУМ-200 это 0.6 (L) и 0.2 (M) метра, что позволяет существенно расширить динамический диапазон измерений. Погрешности измерений в мутных водах, возникающие за счет многократного рассеяния, были рассчитаны методом Монте-Карло для использованной оптической схемы [3]. Классическая двухканальная оптическая схема с одним источником света и одним фотоприемником, обеспечивает минимизацию аппаратной нестабильности источника света и фотоприемника. Разделение светового потока источника света осуществляется модулятором, состоящим из светоделительного диска, установленного на валу двигателя Escar 22V48 с оптическим энкодером E9. На фотоприемник поступает последовательность 4 световых потоков, соответствующих измерительному, опорному, каналу внешней засветки и темновому. С выхода фотоприемника, информация поступает на микропроцессорное устройство обработки и регистрации данных. Прибор собран на элементной базе последнего поколения, платы электроники изготовлены заводским способом, корпусные детали изготовлены из титана и полиацетала Tesaform АН. Для предотвращения осаждения конденсата (запотевания) на внутренних оптических поверхностях, в приборе создается вакуум ~ 650 Гпа. Контроль над атмосферой внутри прибора осуществляет миниатюрная метеостанция ВМЕ 280, которая регистрирует в процессе погружения температуру, давление и влажность. В приборе установлены датчик глубины PA-7LC фирмы KELLER. Информация с быстродействующего

платинового датчика температуры AISI316L фирмы IDRONAUT, поступает на цифровой модуль обработки и калибровки CJMCU, подключенный к основному процессору. На приборе дополнительно установлен унифицированный под зонды SeaBird и датчики Wet Labs герморазъем МСВН6М, позволяющий подключать датчики мутности, флуоресценции, растворенного кислорода и т.д. Питание датчиков производится от аккумуляторов прозрачномера. Аналоговый сигнал с датчиков регистрируется одновременно с данными ПУМ-200 и сохраняется в едином файле данных. В 76-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (Карское море, июль-август 2019 г.) использовался канал флуоресценции 2-канального ECO FLNTURTD – измерителя мутности и флуоресценции Хл «а» фирмы SeaBird. Для питания прибора используется сборка из 10 NiMH аккумуляторов Panasonic HR17/67 емкостью 3.8 Ач. Для калибровки канала показателя ослабления используется особо чистая вода 1 типа, приготовленная в ИО РАН в соответствии со стандартами ASTM, CAP и NCCLS на установке “Simplicity 185” фирмы “Millipore”. Калибровка измерителей глубины и температуры ПУМ-200 произведена по зонду SBE 911+. В 81 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (Карское море, август-сентябрь 2020 г.), для измерения солености в приповерхностном слое, в качестве эксперимента, на ПУМ-200 был установлен автономный малогабаритный CTD зонд CastAway. Испытания прошли успешно, такая сборка из двух приборов позволила существенно сократить время и получить качественные данные при проведении измерений с борта шлюпки.

Зондирование прибором производится на скорости ~1 м/сек, при этом пространственное разрешение составляет ~ 20-30 сантиметров. Более высокое разрешение получается при снижении скорости лебедки. При работах на глубинах ≤ 200 метров, прибор погружается до касания груза с дном, о чем говорит провисание троса лебедки. Прибор при этом не доходит до дна около 30 сантиметров.



Рис. 1. Прозрачномер ПУМ-200 с датчиком флуоресценции фирмы SeaBird.

Технические характеристики прибора:

- Диапазон измерений ПО, база L, $0.050 \dots 10.0 \text{ м}^{-1}$;
- Погрешность измерения ПО, база L, 0.005 м^{-1} ;
- Диапазон измерений ПО, база M, $0.10 \dots 50 \text{ м}^{-1}$;
- Погрешность измерения ПО, база M, 0.015 м^{-1} ;
- Длина волны измерения ПО 525 нм ;
- Полуширина спектрального диапазона 25 нм ;
- Максимальная глубина погружения 200 м ;
- Точность измерения глубины погружения 0.1 м ;
- Диапазон измерения температуры $-2 \div +32 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Точность измерения температуры $0.03 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Объем внутренней энергонезависимой памяти 16 Гб ;
- Напряжение питания аккумуляторов $9 - 14 \text{ в}$;
- Время автономной работы $\sim 10 \text{ часов}$;
- Датчик флуоресценции Chlorophyll-a, ECO FLNTURTD Sea Bird:
 - длина волны излучения/приема $470/695 \text{ нм}$;
 - чувствительность 0.025 мкг/л ;
 - диапазон измерений $0 - 50 \text{ мкг/л}$;
 - линейность $99\% R^2$.

С момента ввода в эксплуатацию, прибор отработал в Арктических и Антарктической экспедициях – 76-м, 81-м и 79-м рейсах

НИС «Академик Мстислав Келдыш», соответственно. За это время было успешно проведено более 200 зондирований в водах различной прозрачности: от 0.15 м^{-1} в центральной Атлантике, до 50 м^{-1} в заливах Новой Земли.

Авторы выражают благодарность безвременно ушедшему, ведущему инженеру Вортману М.И. за разработку и изготовление оптико-механических узлов прибора.

Разработка и изготовление прибора выполнены в рамках государственного задания по теме № 0128-2021-0001, обработка и интерпретация данных - при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-55-45024.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Артемьев В.А., Таскаев В.Р., Буренков В.И., Григорьев А.В. Универсальный малогабаритный измеритель вертикального распределения показателя ослабления света. В кн. Комплексные исследования мирового океана. Проект «Меридиан». Часть 1. Атлантический океан. 2008, М., изд. «Наука», с.165-172.
2. Артемьев В.А., Буренков В.И., Вортман М.И., Григорьев А.В., Копелевич О.В., Таскаев В.Р. Прозрачномер морской воды. Патент на изобретение RUS 2341786 21.12.2006.
3. Буренков В.И., Шеберстов С.В., Артемьев В.А., Таскаев В.Р. Оценка погрешности измерения показателя ослабления света морской модой в мутных водах арктических морей. Светотехника, 2019, №2. С. 55-60.

УДК 556.014

НЕКОТОРЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЛНОВОДА ПЕКЕРИСА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ.

Колигаев О.А.¹, Колигаев С.О.²

¹ *Федеральный центр науки и высоких технологий «СНПО «Элерон», г.Москва, ул. Генерала Белова, д.14, oakoligaev@eleron.ru*

² *«Лаборатория прикладных информационных технологий «Инфрад», г. Дубна, ул. Энтузиастов, д.3«б» - 198, dex@infrad.ru*

SOME PRACTICAL RESULTS OF USING THE PEKERIS WAVEGUIDE IN THE STUDY OF LOW-FREQUENCY HYDROACOUSTIC FIELDS IN THE BARENTS SEA.

Koligaev O.A.¹ Koligaev S.O.²,

¹*Federal Center for Science and High Technologies "SNPO "Eleron",
Moscow, ul. Generala Belova, 14,*

²*"Laboratory of Applied Information Technologies "Infrad",
Dubna, ul. Entuziastov, 3 "b", office 198.*

В работе представлены результаты экспериментальных исследований модовой структуры низкочастотных гидроакустических полей и эффективности использования волновода Пекериса в качестве их математической модели в шельфовой зоне Баренцева моря.

The paper presents the results of experimental studies of the mode structure of low-frequency hydroacoustic fields and the efficiency of using the Pekeris waveguide as their mathematical model in the shelf zone of the Barents Sea.

В низком диапазоне частот Баренцево море в пределах границ шельфовой зоны представляет собой акустический волновод с модовым характером распространения сигналов, обуславливающим наличие пространственной интерференционной структуры акустического поля и дисперсии фазовой и групповой скорости.

Данное обстоятельство, с одной стороны, существенно осложняет работу гидроакустических средств, игнорирующих указанные особенности акустического поля, а с другой стороны, открывает дополнительные функциональные возможности для гидроакустических средств, адаптируемых к условиям применения.

Однако, для реального использования этих особенностей распространения гидроакустических сигналов необходимо знание адекватной модели среды, обеспечивающей возможность прогнозирования пространственно-временных параметров сигналов.

Удобной, с точки зрения описания особенностей волноводного распространения сигналов, является модель идеального волновода с абсолютно жесткими или абсолютно мягкими границами [1].

В частности, в идеальном волноводе глубиной H акустическое поле точечного гармонического источника частоты ω описывается выражением (1)

$$S(\omega, r, t) = \sum_{m=1}^{M(\omega)} A_m \cdot e^{j \cdot (\omega t - \alpha_m r)}, \quad (1)$$

параметры распространения волн в котором определяются простым характеристическим уравнением (2)

$$\gamma_m \cdot H = (m - \frac{1}{2}) \cdot \pi, \quad (2)$$

где

$M(\omega) \leq (\frac{2H}{\lambda} + \frac{1}{2})$ - количество возбуждаемых нормальных волн;

$A_m = \sin(\gamma_m \cdot z_n) \cdot \sin(\gamma_m \cdot z_n)$ - амплитуда m -той нормальной волны;

$\gamma_m = \frac{(m - \frac{1}{2}) \cdot \pi}{H}$ - вертикальное волновое число;

$\alpha_m^2 = (\omega / c)^2 - \gamma_m^2$ - горизонтальное волновое число;

c - скорость звука в водном слое.

Данная модель, весьма эффективна при решении принципиальных вопросов построения гидроакустических средств, предназначенных для работы в условиях волноводного распространения и формирования модельных задач в процессе отработки программно-алгоритмических решений. Однако, она редко, когда может быть использована для практического применения в реальных условиях.

Более адекватной моделью для описания волноводного распространения гидроакустических сигналов в реальных морских условиях является модель Пекериса [2], представляющая собой однородный плоскопараллельный слой жидкости, лежащий на жидком однородном полупространстве, а основные параметры нормальных волн определяются характеристическим уравнением (3)

$$\alpha_m \cdot H \cdot \left(\frac{v_m^2}{c_1^2} - 1 \right)^{1/2} = m \cdot \pi - \arctg \frac{\rho_2}{\rho_1} \cdot \left[\frac{\frac{v_m^2}{c_1^2} - 1}{1 - \frac{v_m^2}{c_2^2}} \right]^{1/2}, \quad (3)$$

где ρ_1, C_1 и ρ_2, C_2 - плотность и скорость распространения волны в жидком слое и подложке;

v_m - фазовая скорость m -той нормальной волны.

Именно эта модель и использована для описания и прогнозирования пространственно-временной структуры гидроакустических сигналов низкого частотного диапазона в шельфовой зоне Баренцева моря.

Экспериментально оцененные (с использованием пневматического источника звука и пространственно-развитой донной антенной решетки) параметры модели, а именно, плотности и скорости

звука в грунте (ρ_2, c_2), использованы в дальнейшем для расчета частотно зависимых фазовой и групповой скорости и формирования векторов компенсации при пространственной фильтрации сигналов.

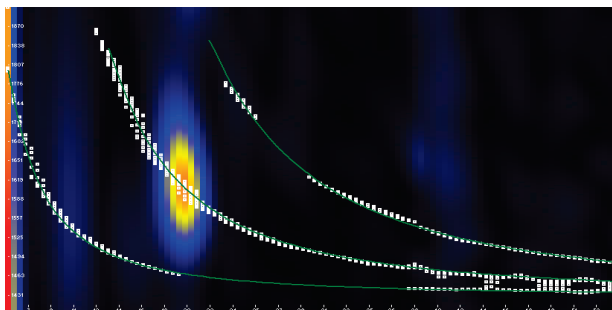


Рис.1 Дискретная составляющая собственного шумоизлучения корабля в развертке частота-фазовая скорость.

На рисунке 1 представлены дисперсионные характеристики фазовой скорости с наложенной на них дискретной составляющей шумоизлучения гребного винта корабля, условия генерации которой соответствуют возбуждению второй моды, что и подтверждается строгим соответствием ее расположения на дисперсионной характеристике именно второй моды.

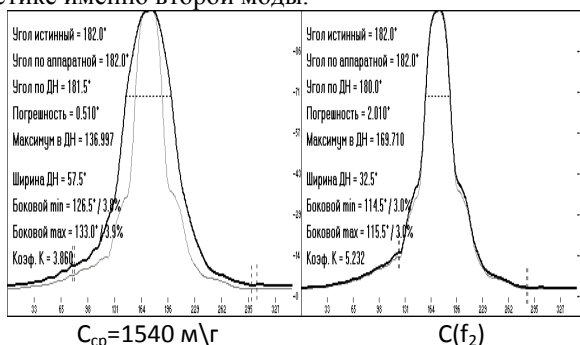


Рис. 2 Пространственные отклики антенны при использовании средней и частотно зависимой фазовой скорости второй моды

Использование дисперсионных характеристик нормальных волн в нижнем диапазоне частот при пространственной фильтрации

непрерывных широкополосных сигналов протяженной линейной гидроакустической антенной позволило существенно расширить интервал пространственной корреляции сигналов, повысить коэффициент усиления сигнала антенной и ее коэффициент концентрации (рис.2).

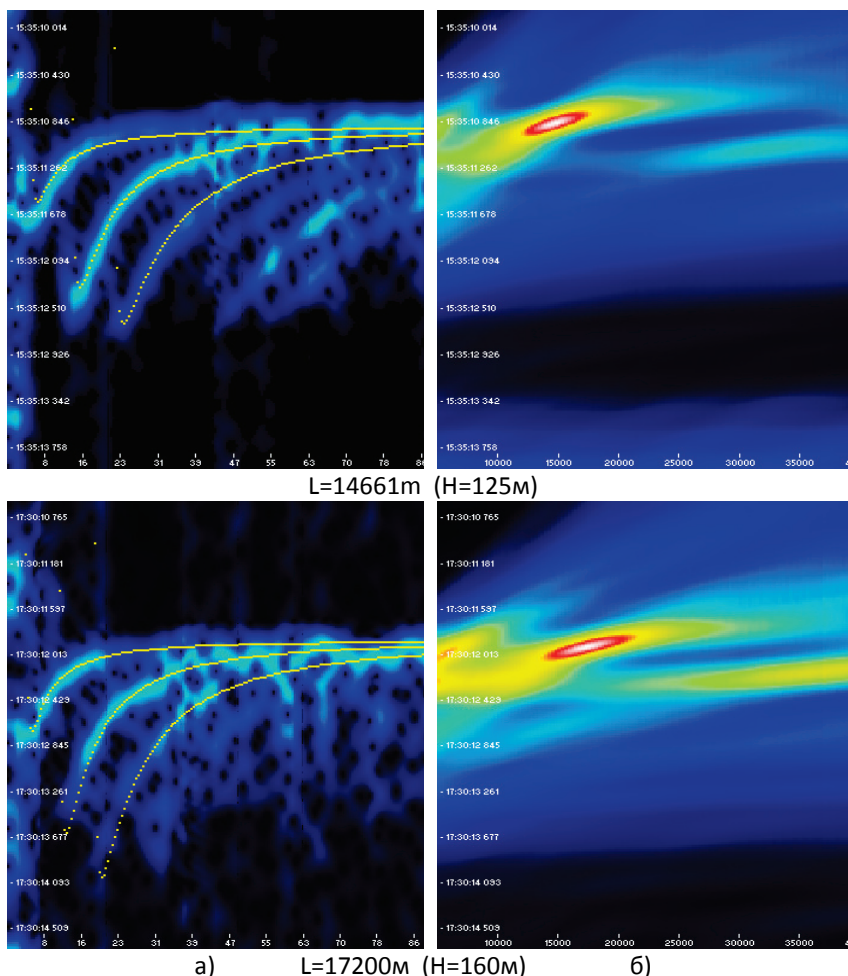


Рис.3. Дисперсионные характеристики групповой скорости и оценки дальности

Одним из существенно-полезных применений дисперсионного характера распространения сигнала в мелком море является

принципиальная возможность оценки расстояния до источника излучения и его глубины исключительно по результатам анализа частотно-временных параметров принятого сигнала, что создает предпосылки для пространственного разрешения одной антенной сигналов источников, находящихся в ее дальнем акустическом поле. Дисперсионный анализ групповой скорости не требует пространственного накопления и вполне может быть осуществлен на одиночном приемнике, что существенно упрощает решение ряда задач, связанных с необходимостью оценки расстояния источник-приемник и (или) заглупления источника излучения.

На рисунках 3а представлены сонограммы сигналов пневматического источника, принятых удаленным приемником. Белыми пунктирными линиями показаны модельные дисперсионные кривые групповой скорости первых трех мод, при этом наблюдается весьма хорошее соответствие дисперсионных характеристик мод, рассчитанных по математической модели, их экспериментальным оценкам.

На рисунках 3б представлены результаты локализации сигнала по расчетной модельной передаточной характеристике. В доступном для анализа (по имеющимся экспериментальным данным) диапазоне дальностей от 10 до 45 км в разнесенных до двухсот километров районах с глубинами от 125 до 300 метров, источник излучения локализуется с высокой точностью без изменения параметров модели.

Таким образом, результаты исследования показывают реальную возможность и целесообразность практического применения математической модели волновода Пекериса при анализе и синтезе гидроакустических полей и сигналов на шельфе Баренцева моря в обеспечение повышения эффективности существующих и создания новых систем освещения подводной обстановки, навигации и связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Скучик, Основы акустики, «Мир», Москва, 1976г.
2. И.Толстой, К.С.Клей, Акустика океана, «Мир», Москва, 1969г.
3. Л.М.Бреховских, Волны в слоистых средах, «Наука», Москва, 1973г.

**КВАЗИ-ИНЕРЦИОННЫЕ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ В
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ**

Химченко Е.Е., Островский А.Г., Клювиткин А.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-61-49,
ekhym@ocean.ru*

**NEAR-INERTIAL INTERNAL WAVES IN THE CENTRAL PART OF
THE BLACK SEA**

Khimchenko E.E., Ostrovskii A.G., Klyuvitkin A.A.

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

Анализируется сезонная изменчивость квази-инерционных внутренних волн по годовым временным рядам данных измерений скорости течения на горизонтах 100 м и 1700 м в центральной котловине Черного моря. Выявлена интенсификация инерционных движений с сентября по февраль.

Seasonal variability of near-inertial waves is analyzed using the yearly-long time series of the current meter data in the central basin of the Black Sea. A comparison of the seasonal variability is carried out for the observational depths of 100 m and 1700 m. The intensification of near-inertial motions is revealed from September through February.

На фоне почти полного отсутствия приливных движений в Черном море инерционные колебания доминируют в высокочастотной области энергетического спектра течений [1]. Работы по исследованию инерционных движений в Черном море начались в середине XX века [2, 3] и продолжают по настоящее время [4, 5]. Современные средства наблюдений (как например, точечные датчики температуры или акустические доплеровские профилографы течений – ADCP) позволяют вести продолжительные измерения с высокой точностью. Однако чаще работы проводятся в прибрежной зоне моря в летне-осенний сезон. Наблюдения же в течение целого года - большая редкость.

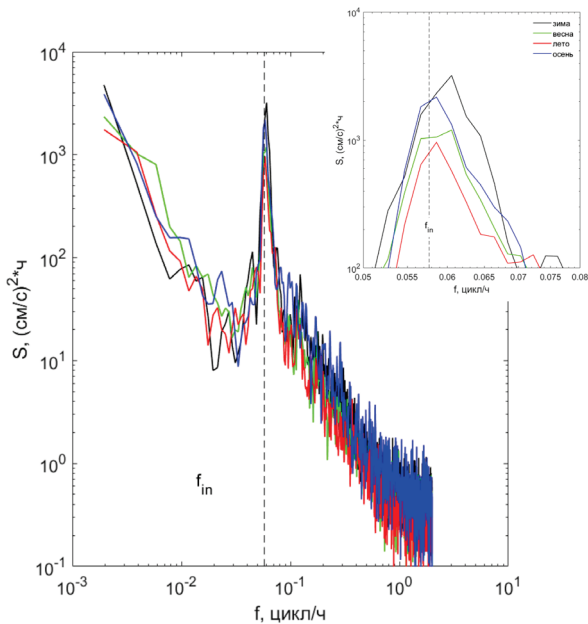


Рис. 1. Частотный спектр колебаний u -компоненты скорости течений на глубине 100 м для различных сезонов, штрих-пунктиром отмечена локальная инерционная частота в районе наблюдений.

В работе представлен анализ временных рядов данных гидрофизических измерений в глубоководной центральной части Черного моря, полученных в 2016–2017 гг. На станции в течение 10 месяцев (от 01.12.2016 по 05.10.2017) велись измерения течений ADCM Sontek на горизонте 100 м и ADCP Nortek на горизонте - 1700 м. Дискретность измерений составила 15 мин.

За весь период наблюдений отмечается почти постоянное присутствие квази-инерционных внутренних волн в центральной котловине Черного моря. Однако их интенсификация происходит в осенне-зимний период. Наличие продолжительных измерений с дискретностью 15 мин, позволило провести частотный спектральный анализ хорошо обеспеченный статистически (рис. 1). По результатам спектрального анализа данных u - и v -компонент скорости течений выявлена сезонная изменчивость квази-инерционных внутренних волн.

Для каждого сезона выделяется достоверный пик на частотах 0.058–0.06 ц/ч (17.24 – 16.67 ч), что близко к локальной инерционной частоте

$$f_{in} = 0.0577 \text{ ц/ч (17.34 ч)}.$$

Более подробный анализ данных течений показал, что интенсификация инерционных колебаний происходит с сентября по февраль. При этом за каждый период, близкий к локальному инерционному, вектор вращения скорости (годограф) совершает оборот по часовой стрелке, что характерно для инерционных внутренних волн. Годографы инерционных вращений, наблюдаемые в январе, показаны на рис. 2.

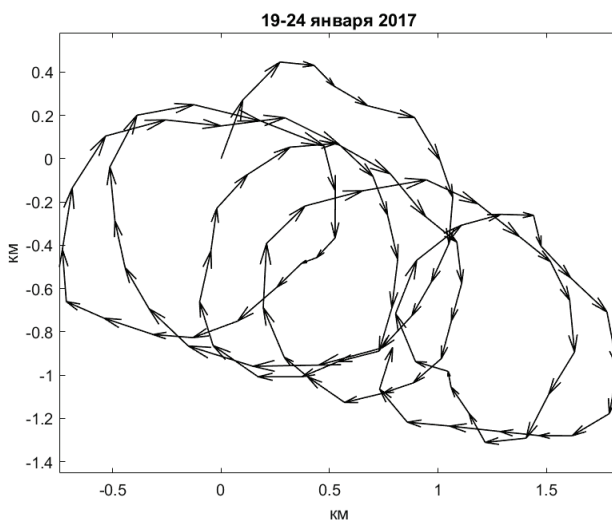


Рис. 2. Прогрессивная векторная диаграмма течений на горизонте 100 м 19-24 января 2017 г.

Как видно, зимой наблюдается хорошо выраженное вращение годографов с инерционной периодичностью. Радиус окружности, описываемой векторами инерционных течений, изменяется в пределах 0.5–1.5 км. Начиная с весеннего периода годографы течений, не всегда совершают полный оборот, их формы претерпевают изменения, вытягиваясь в эллипсоиды, а в летний сезон «орбиты» годографов вовсе не замыкаются, имея форму дуги, вытянутой в направлении на восток, восток-юго-восток, что указывает на доминирующее направление переноса вод. Подобное разнообразие форм годографов инерционных колебаний наблюдалось в прибрежной зоне Черного моря [6].

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0128-2021-0010, обработка данных осуществлялась при поддержке проекта РФФИ № 19-05-00459.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кловиткин А., Островский А. Г., Лисицын А. П., Коновалов С. К. Энергетический спектр скорости течения в глубокой части Черного моря // Доклады Академии наук, – 2019. – Т. 488. – № 5. – С. 103-107.
2. Ямпольский А.Д. О внутренних волнах в Черном море по наблюдениям на многосуточной якорной станции // Труды ИОАН СССР. – 1960. – Т. 39. – С. 111–126.
3. Блатов А.С., Булгаков Н.П., Иванов В.А., Косарев А.Н., Тужилкин В.С. Изменчивость гидрофизических полей Черного моря. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 240 с
4. 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.
5. Морозов, А. Н., Лемешко, Е. М., Шутов, С. А., Зима, В. В., Дерюшкин, Д. В. Структура течений в Черном море по результатам наблюдений LADCP в 2004-2014 гг. // Морской гидрофизический журнал. – 2017. – №1. – С.27–42.
6. Бондур В. Г., Сабинин К. Д., Гребенюк Ю. В. Характеристики инерционных колебаний по данным экспериментальных измерений течений на российском шельфе Черного моря //Известия Российской академии наук.

УДК 534.23

ВЛИЯНИЕ ПОДВОДНОГО ШУМА НА ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ НА КОГЕРЕНТНУЮ АКУСТИЧЕСКУЮ СВЯЗЬ

Шатравин А.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997, Москва, Нахимовский пр., д. 36, 8(499)124-61-49,
ashatravin@ocean.ru*

INFLUENCE OF UNDERWATER NOISE ON THE COHERENT ACOUSTIC COMMUNICATIONS AT THE BLACK SEA SHELF

Shatravin A.V.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36,
Nahimovskiy prospect, Moscow, Russia, 117997*

В работе анализируется аддитивная помеха для когерентной звукоподводной связи в виде подводного шума, зарегистрированного на шельфе Черного моря. Показано существенное отличие реальной помехи от искусственного белого гауссовского шума.

In this work we analyze underwater noise registered at the Black Sea shelf as additive noise for coherent underwater acoustic communications. Significant difference between the real noise and white Gaussian noise is shown.

Аддитивный шум является одной из основных помех для подводной акустической связи. Особенно сильно влияние фонового шума на связь может проявляться на мелководном шельфе в присутствии множества источников шума, расположенных вблизи приёмника. С другой стороны, в мелководном канале также сильно выражен многолучевой характер распространения звуковых сигналов, проявляющийся в принятых сигналах связи в виде межсимвольной интерференции. Сочетание этих факторов делает мелководный гидроакустический канал одной из самых сложных для передачи данных физических сред [1]. В таком канале для подавления помехи, как правило, приходится применять адаптивные методы эквализации. В когерентной подводной акустической связи широкое применение нашел метод эквализации с обратной связью на основе минимизации математического ожидания среднеквадратичной ошибки (MMSE-DFE) [2]. Коэффициенты фильтров этого эквалайзера рассчитываются на основе оценки импульсного отклика канала и ковариационной матрицы шума. При высоких значениях отношения сигнал/шум (ОСШ) бывает достаточно использовать в качестве оценки ковариации аддитивного шума диагональную матрицу, то есть шум предполагается белым гауссовским [3]. Кроме того, в таком предположении оказывается возможным получение теоретических оценок минимально достижимой ошибки декодирования. Однако в реальных условиях спектральная плотность мощности фонового шума почти всегда распределена неравномерно в рабочей полосе частот, а предположение о

стационарности шума неверно даже для малых масштабов времени порядка долей секунды. Поэтому для реальных условий при достаточно высоком интегральном уровне шума оценки эффективности эквалайзера MMSE-DFE, полученные в предположении гауссовости аддитивного шума, оказываются несостоятельными. В данной работе представлены результаты эксперимента, направленного на сравнение реализаций аддитивного белого гауссовского шума (АБГШ) и реально наблюдаемого в акватории Голубой бухты (близ Геленджика) подводного шума с точки зрения их влияния на ошибки декодирования сигналов когерентной акустической связи.

Эксперимент заключался в декодировании методом MMSE-DFE прошедших через волновод сигналов связи с изначально высоким ОСШ, дополнительно искаженных искусственным наложением реализаций шума (реального и АБГШ). Набор сигналов связи состоял из 60 посылок m -последовательности из 2047 символов, кодирующей несущий сигнал на частоте 10 кГц методом бинарной фазовой манипуляции. Придонные источник и приемник были разнесены на 1 км вдоль изобаты 36 м, профиль скорости звука был практически изоскоростным со слабо выраженным придонным каналом. Набор из 2200 реализаций реального шума был составлен из сегментов непрерывной записи длительностью 5 суток, полученной в другое время приблизительно в таких же условиях. На рис. 1 показаны результаты декодирования (коэффициенты ошибок для различных сигналов связи при каждом фиксированном значении ОСШ усреднились).

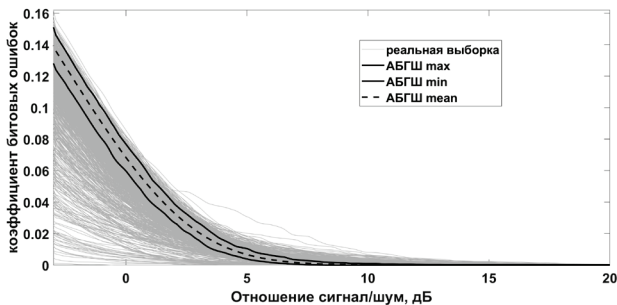


Рис. 1. Зависимость коэффициента битовых ошибок от отношения сигнал/шум (дБ) при наложении шума из используемой выборки наблюдаемых шумов (серые кривые), максимальные и минимальные значения k -та битовых ошибок, полученные на реализациях АБГШ (сплошные черные кривые), и среднее значение для АБГШ (прерывистая черная кривая).

При значениях ОСШ от 3 до 15 дБ существенная часть сигналов связи, искаженных реализациями реально наблюдаемого шума, декодируется с долей ошибок выше не только среднего, но и максимального значения коэффициента ошибок для реализаций АБГШ. При низких значениях ОСШ (<2 дБ) искажение сигнала реализациями реального шума приводит, наоборот, к меньшему количеству ошибок декодирования по сравнению с реализациями АБГШ. Таким образом, можно сделать вывод о том, что прогнозирование качества подводной акустической связи с применением адаптивной эквалализации в районе исследований в предположении АБГШ-модели фонового шума оказывается неточным в широком диапазоне значений ОСШ.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема 0128-2021-0010).

ЛИТЕРАТУРА

1. Rouseff D. Counterintuitive Results in Underwater Acoustic Communications // In: Zhou L., Xu W., Cheng Q., Zhao H. (eds) Underwater Acoustics and Ocean Dynamics. Springer, Singapore, 2016. P. 11–18.
2. Stojanovic M., Freitag L., Johnson M. Channel-estimation-based adaptive equalization of underwater acoustic signals // Oceans' 99. MTS/IEEE. Riding the Crest into the 21st Century. Conference and Exhibition. Conference Proceedings (IEEE Cat. No. 99CH37008), vol. 2, pp. 985-990. IEEE, 1999.
3. Preisig J.C. Performance analysis of adaptive equalization for coherent acoustic communications in the time-varying ocean environment // J. Acoust. Soc. Am. 2005. V. 118. № 1. P. 263–278.

УДК 551.466.8

ИЗМЕРЕНИЕ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА КРУТОМ ШЕЛЬФЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ АНТЕННОЙ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ДАТЧИКОВ

Серебряный А.Н.^{1,2}, Попов О.Е.³, Химченко Е.Е.¹

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-59-58, serebryany@hotmail.com*

² *АО «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева, ул. Шверника, 4, 117036, г. Москва,*

³ *Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН,
Пыжевский переулок, д.3, 119017, г. Москва*

MEASUREMENT OF INTERNAL WAVES ON A STEEP SHELF BY SPATIAL ANTENNA OF LINE SENSORS

Serebryany A.N.^{1,2}, Popov O.E.³, Khimchenko E.E.¹

¹ *Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

² *N.N. Andreyev Acoustics Institute, 4, Shvernik Str, Moscow, 117036*

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

Представлены результаты измерений поля внутренних волн пространственной антенной распределенных датчиков температуры на узком крутом шельфе Черного моря. В эксперименте были измерены параметры волн, включая направление распространения и фазовые скорости. Кроме того, были выделены особенности внутриволнового поля крутого шельфа – наличие помимо распространяющихся к берегу инерционных и короткопериодных волн, также части коротких волн, движущихся от берега. Выявлена привязка цугов коротких внутренних волн к гребням внутренних инерционных волн.

The results of measurements of the internal wave field by a spatial antenna of line temperature sensors on a narrow steep shelf of the Black Sea are presented. In the experiment, the parameters of the waves were measured, including the direction of propagation and phase velocities. The following features of the internal wave field of a steep shelf were identified: the presence, in addition to the inertial and short-period waves propagating to the coast, also part of the short waves moving off shore. The connection of trains of short internal waves to the crests of internal inertial waves was revealed.

Осенью 2019 г нами были проведены исследования внутренних волн в Черном море, близ г. Сухум, район которого характеризуется необычно узкой полосой шельфа [1]. Особенностью проведенного эксперимента было использование наряду с другими средствами измерений, обычно применяемых в нашей практике (ADCP, STD зонды, гирлянды термисторов) пространственной антенны распределенных датчиков температуры (РДТ). РДТ – известный измеритель внутренних волн, выполненный в виде изолированного провода, который

располагается вертикально в термоклине и измеряет среднюю температуру охватываемого слоя воды. РДТ регистрирует колебания распространяющихся по термоклину внутренних волн. В наших работах использовались модификация автономных РДТ [2], экспериментальная партия которых была изготовлена в Акустическом институте.

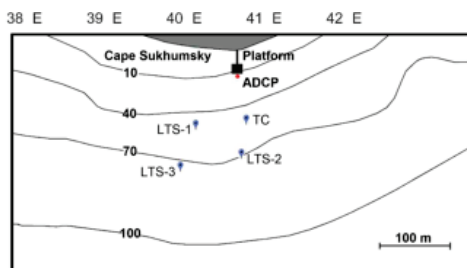


Рис. 1. Расстановка антенны РДТ датчиков и термогириляды на фоне рельефа дна прибрежной зоны моря.

Размещенные в пространстве несколько РДТ образуют пространственную антенну, которая позволяет регистрировать основные параметры проходящих через нее внутренних волн. Минимальное число датчиков в антенне для измерений внутренних волн равно 3, иногда оно достигает, как известно из практики предыдущих лет - десяти [3]. По данным такой антенны можно рассчитывать пространственные спектры внутренних волн [4] и определять длину волн, направление и скорость их распространения. В нашем случае в антенну входило 3 РДТ. Также была использована одна гириляда термодатчиков. Расположение датчиков пространственной антенны показано на рис. 1.

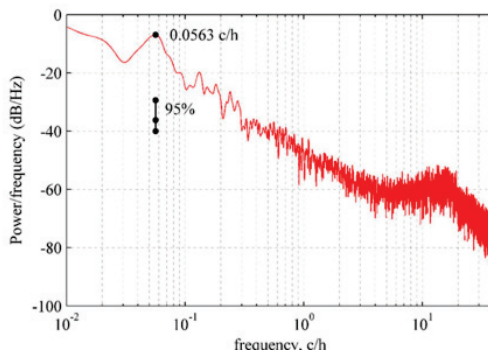


Рис. 2. Частотный спектр внутренних волн.

По всему 10-суточному ряду измерений РДТ был рассчитан средний частотный спектр, на котором проявились два пика (инерционный и короткопериодный, см. рис. 2).

Определение направлений распространения, а также фазовых скоростей короткопериодных внутренних волн по данным пространственной антенны можно вести двумя путями. Первый – путем расчета пространственных спектров по методике [4], а второй – методом, основанным на определении временных задержек приходов сигналов (применением взаимно корреляционного анализа) между парами РДТ, расположенных в углах треугольника.

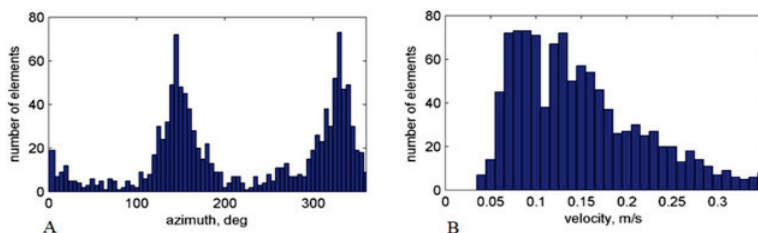


Рис. 3. Гистограммы азимутов (интервал 5°) приходов внутренних волн (А) и их фазовых скоростей (интервал 0.01 м/с) (В) в диапазоне периодов волн 300–500 с.

Результаты использования второго метода для определения искомых параметров волн, примененного для всей 10-дневной записи представлены на рис. 3. Рассчитанные скорости распространения большинства короткопериодных внутренних волн лежат в пределах от 0.1 до 0.3 м/с.

Полученные азимуты прихода волн выявляют картину почти постоянного присутствия в прибрежной зоне двух систем коротких волн. Часть короткопериодных волн движется из открытого моря к берегу, а другая часть – от берега в противоположном направлении. Максимум гистограммы азимутов 148° соответствует направлению от места измерений на мыс Кодор. Второй максимум 333° примерно равен первому плюс 185° . Это направление прихода короткопериодных внутренних волн, отражённых от берега.

Помимо короткопериодных волн отмечены регулярные подходы в прибрежную зону инерционных внутренних волны с периодом близким 17 ч с амплитудами до 8 м. В моменты подхода гребней инерционных волн в прибрежной зоне появлялись цуги движущихся на берег короткопериодных внутренних волн.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН

(тема № 0128-2021-0010), обработка результатов эксперимента проведена при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00715.

ЛИТЕРАТУРА

1. Serebryany, A. Internal Waves Study on Narrow Steep Shelf of the Black Sea Using Spatial Antenna of Line Temperature Sensors / A. Serebryany, E. Khimchenko, O. Popov, D. Denisov, G. Kenigsberger // Journal of Marine Science and Engineering. – 2020. – V. 8. – № 11. – P. 883.
2. Денисов, Д.М. Автономный измеритель внутренних волн на основе распределенного датчика температуры / Д. М. Денисов, А. Н. Серебряный // Приборы и техника эксперимента. – 2019. – № 2. – С. 159–160.
3. Иванов, В.А. Внутренние волны на мелководном шельфе бесприливного моря / В. А. Иванов, А. Н. Серебряный // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. – 1983. – Т. 19. – № 6. – С. 661–665.
4. Коняев, К. В. Спектральный анализ случайных океанологических полей / К. В. Коняев. - Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 208 с.

УДК 551.465

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОФИЗИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И ПЕРЕНОСА ВОД В ЗАЛИВАХ СЕВЕРНОГО ОСТРОВА НОВОЙ ЗЕМЛИ

Недоспасов А.А., Поярков С.Г., Очередник В.В.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский проспект, 36. 117997, г. Москва, 8(499)124-59-83, nedospasov.aa@ocean.ru

FEATURES OF HYDROPHYSICAL STRUCTURE AND WATER TRANSFER IN THE BAYS OF THE NORTHERN ISLAND OF THE NOVAYA ZEMLYA

Nedospasov A.A., Poyarkov S.G., Ocherednik V.V.

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36, Nahimovskiy prospekt, Moscow, Russia, 117997

В работе приведены результаты гидрологических исследований и оценены переносы вод в заливах северного острова Новой Земли по данным комплексных экспедиций ИО РАН в Карское море за 2018 и 2020 гг.

In the article the results of hydrological research in the Bays of the northern island of Novaya Zemlya that were carried in the complex IO RAS expeditions to the Kara Sea in 2018 and 2020 are given. Also, the water transfer was evaluated.

Гидрофизические исследования в заливах Северного острова Новой Земли проводились в сентябре 2018 и 2020 гг. в ходе 72 и 81 рейсов НИС «Академик Мстислав Келдыш» [1, 2]. Были обследованы заливы Благополучия и Цивольки с целью наблюдения за состоянием захоронений затопленных радиоактивных объектов.

В сентябре 2018 г. в заливе Благополучия были выполнены измерения в двух географических точках на шельфе с целью получения параметров вертикальной гидрофизической структуры и оценки скорости переноса воды в толще и у дна (Рис. 1).

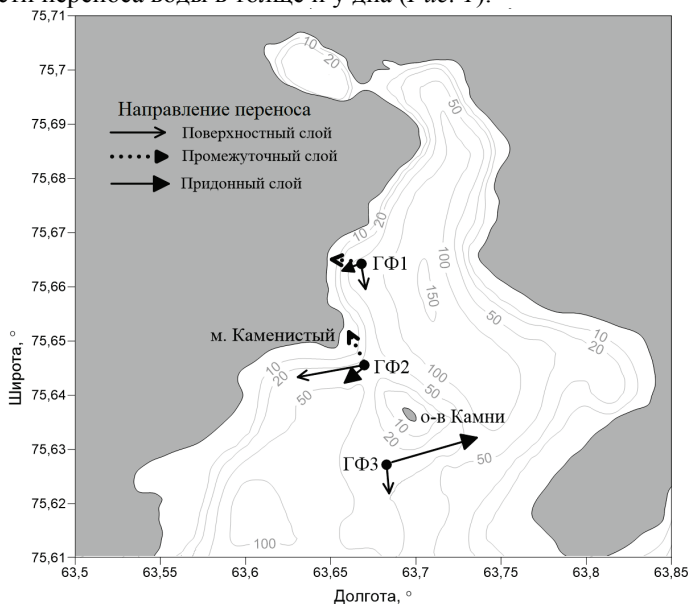


Рис. 1. Схема станций и переноса воды в заливе Благополучия

Точка измерений ГФ-1 находилась на глубине около 60 м у западного берега внутренней части залива на «полке» склона примерно у края ареала скопления затопленных объектов. На поверхности моря наблюдалась относительно теплая (около 1 °С), слегка опресненная береговым стоком (около 30.8 е.п.с.) морская вода. В подстилающем слое до 2-2,5 м происходило достаточно быстрое падение температуры воды до ~ 0 °С и резкое возрастание ее солёности до 33.1 е.п.с. Глубже, примерно до 5 м, значения температуры и солёности воды практически не изменялись. В нижележащей толще до глубины 46 м температура воды была повсеместно отрицательной, плавно уменьшаясь ко дну до – 0.6 °С, солёность воды при этом монотонно возрастала с глубиной до 33.75 е.п.с.

Движение воды во всей обследованной толще характеризовалось весьма незначительными скоростями переноса – в среднем на уровне 3 см/с и переменной по направлению. В поверхностном слое 0-7 м наблюдался относительно слабый перенос воды вдоль берегового склона из залива в сторону открытого моря (преобладающие южные составляющие) со скоростями от 1.5 до 3-4 см/с (*Рис. 1*). Глубже, до 10-11 м, был зафиксирован перенос воды из открытого моря в залив поперек изобат со скоростью 5 см/с. В нижележащей толще вплоть до дна также отмечалась существенная переслоенность переноса: примерно до 18 м наблюдался вынос воды из залива со скоростью 3.5-5 см/с; на 20-21 м вновь фиксировался заток воды из открытого моря в залив с интенсивностью около 3.5 см/с и, наконец, начиная с 25 м и до 46 м (у дна), наблюдался относительно слабый (от 2 до 1.5 см/с) перенос воды вдоль склона западного берега залива в открытое море.

Другая точка измерений ГФ-2 у западного берега залива мористее м. Каменистый в сторону о. Камни на глубине около 30 м была расположена во внешней части залива, имеющей непосредственный контакт с открытым морем (*Рис. 1*). Влияние опреснения береговым стоком здесь на поверхности моря было менее выраженным – вода была несколько холоднее (около 0.6 °С) и солонее (около 31.3 е.п.с.). В тонком подповерхностном слое до 4 м происходило уменьшение температуры воды до слабо отрицательных значений и относительно быстрое возрастание ее солёности до 33.0 е.п.с. В нижележащем слое от 5 до 10 м значения температуры и солёности воды практически не изменялись. Глубже, примерно до 15 м, на фоне плавного увеличения солёности до 33.25 е.п.с., температура воды падала до –0.35 °С. В подстилающей толще вплоть до 26 м температура воды оставалась слабо отрицательной, лишь слегка

возрастая в 5-метровом придонном слое, соленость воды при этом монотонно возрастала с глубиной до 33.58 е.п.с. у дна.

Ранее проведенные в осенний период 2013 -14 гг. гидрофизические исследования в заливе Благополучия позволили выявить наличие циклонической циркуляции поверхностных вод [3]. В целом было показано, что вынос вод из залива в акваторию Карского моря происходит преимущественно вдоль его западного берега, приток вод открытого моря – вдоль восточного.

Работами в сентябре 2018 г. была обнаружена существенная переменчивость переноса воды по направлению во всей обследованной толще. В достаточно тонком поверхностном слое (4-7 м) был зафиксирован перенос воды вдоль склона западного берега из залива в сторону открытого моря с различной степенью интенсивности (от 3 до 15 см/с). В подстилающем слое до 20-24 м наблюдался перенос обратного направления – из открытого моря в залив, с уменьшением его интенсивности с глубиной от 7.5 до 3.5 см/с. В глубинном и придонном слоях снова отмечался относительно слабый (от 1.5 до 3 см/с) отток воды вдоль склона западного берега залива в открытое море.

В сентябре 2020 г. наблюдения проводились мористее о. Камни в сторону внешней части залива (ГФЗ, Рис. 1) в непосредственной близости от места постановки кластера термокос. Вертикальная структура вод представляла относительно ослабленную ступенчатую плотностную стратификацию, сформированную, вероятно, под влиянием приливного и волнового перемешивания на мелководье у о. Камни. Достаточно выражена была лишь термическая стратификация, связанная с сезонным прогревом. Поверхностный квазиоднородный слой 0-9 м относительно теплой 4-4.5 °С и слабо опресненной 31.6-31.8 е.п.с. воды подстилался термоклином на 9-12 м, в котором температура падала с 4°С до 1.4 °С, а соленость воды незначительно возрастала до 32.3 е.п.с. Глубже температура воды продолжала падать, переходя после 20 м в отрицательную область значений и у дна достигала почти –0.4 °С. Одновременно соленость монотонно увеличивалась, доходя ко дну почти до 34 е.п.с.

Поверхностный тонкий 2-метровый слой воды двигался со скоростью около 10 см/с в южном направлении из залива в открытое море практически по ветру, который в период наблюдений был северо-восточным со скоростью до 7.5 м/с. Перенос всей подстилающей толщи вод осуществлялся к востоку в сторону восточного берега залива. Наблюдалось нарастание скорости переноса с глубиной от 7-9 см/с в подповерхностном 3-5 м слое до максимальных ее значений 25-27 см/с в слое 17-21 м.

В заливе Цивольки наблюдения в сентябре 2020 г. проводились над местом затопления экранной сборки атомного ледокола «Ленин» на глубине 59 м. В период работ вдоль залива действовал слабый северный ветер со скоростью 4 м/с.

Движение всей обследованной толщи вод происходило в генеральном южном направлении из залива в сторону открытого моря с характерной скоростью 13-18 м/с. При этом поверхностный слой опресненной воды перемещался со скоростью 10 см/с по действующему ветру. Максимальная интенсивность переноса 18-20 см/с наблюдалась в слое 9-13 м. У дна были зафиксированы минимальные скорости движения воды ~ 5 см/с.

Поверхностный однородный слой опресненной береговым стоком воды соленостью 27.7 е.п.с. и температурой 4.7 °С простирался до 6 м. Его подстилала до 18-20 м прослойка теплой (до 5.8 °С) воды, соленость в которой резко увеличивалась и доходила до 32.2 е.п.с. на ее нижней границе. Глубже, примерно до 35 м, температура достаточно быстро падала до слабо отрицательных (-0.5 °С) значений, соленость при этом монотонно возрастала с глубиной примерно до 33.6 е.п.с. Ко дну температура воды уменьшалась примерно до -0.7 °С, а соленость продолжала незначительно увеличиваться до 34.1 е.п.с.

Таким образом, в результате наблюдений в заливах Северного острова Новой Земли были выявлены некоторые особенности циркуляции вод. Во-первых, наблюдалась значительная вертикальная изменчивость в направлении движения воды. Во-вторых, в придонном слое перенос циклонической направленности происходит вдоль изобат. Интенсивность потока вод сильно различается, но преимущественно составляли около 5-10 см/с.

Исследования были проведены в рамках темы Госзадания 0128-2021-0002 (участие в экспедиции) при поддержке проекта РФФИ 18-05-60070 «Арктика» (обработка и анализ полученных данных).

ЛИТЕРАТУРА

1. Флинт М.В., Поярков С.Г, Римский-Корсаков Н.А., Мирошников А.Ю. Экосистемы морей сибирской Арктики – 2018 (72-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш») // Океанология. 2019. Т. 59. №3. С.506-509. Doi: 10.31857/S0030-1574593506-509
2. Флинт М.В., Поярков С.Г, Римский-Корсаков Н.А., Мирошников А.Ю. Экосистемы морей сибирской Арктики – 2020 (81-й рейс научно-

исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш») // Океанология. 2021. Т.61. №2. (в печати)

3. Степанова С.В., Недоспасов А.А. Особенности гидрофизического и гидрохимического режимов залива Благополучия (Новая Земля) // Океанология. 2017. Т. 57. № 1. С. 75-85.

УДК 551.465

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОФИЗИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И ПЕРЕНОСА ВОД В ЗАЛИВАХ ЮЖНОГО ОСТРОВА АРХИПЕЛАГА НОВАЯ ЗЕМЛЯ

Недоспасов А.А., Поярков С.Г.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский проспект, 36. 117997, г. Москва, nedospasov.aa@ocean.ru

FEATURES OF HYDROPHYSICAL STRUCTURE AND WATER TRANSFER IN THE BAYS OF THE SOUTHERN ISLAND OF THE NOVAYA ZEMLYA

Nedospasov A.A., Poyarkov S.G.

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36, Nahimovskiy prospekt, Moscow, Russia, 117997

В работе представлены результаты гидрофизических исследований, проведенных в 2019 и 2020 годах в заливах южного острова Новой Земли. Проведена оценка интенсивности водообмена между заливами и открытым морем.

In the article the results of hydrophysical research in the Bays of the southern island of Novaya Zemlya that were carried in the complex IO RAS expeditions to the Kara Sea in 2019 and 2020 are given. The evaluation of the water exchange between the Gulfs and the open Kara sea was made.

Гидрофизические исследования в заливах Южного острова Новой Земли проводились в конце июля 2019 г. и сентябре 2020 г. в ходе 76 и 81 рейсов НИС «Академик Мстислав Келдыш» [1, 2]. Были обследованы заливы Абросимова и Степового в рамках мониторинга

состояния захоронений затопленных радиоактивных объектов.

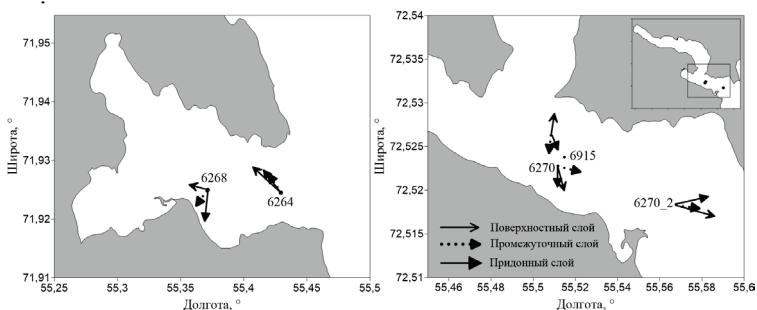


Рис. 1. Схема станций наблюдений и переноса вод в заливах Абросимова (слева) и Степового (справа)

С целью получения параметров вертикальной гидрофизической структуры и оценки интенсивности переноса вод в толще и у дна были проведены измерения в двух географических точках в заливе Абросимова вблизи затопленных объектов с твердыми радиоактивными отходами (ТРО) у входа в залив (ст. 6264) и во внешней его части (ст. 6268) на глубинах 23 м и 15 м, соответственно (Рис. 1)

Стратификация вод в заливе была следующей. Тонкий и теплый (свыше 9 °С) поверхностный слой вод был сильно опреснен речным и береговым стоками, соленость в нем составляла около 1.5 е.п.с. Глубже, до 2 м, происходило быстрое падение температуры до 2 – 2.5 °С и резкое возрастание солености до 29 е.п.с. Ниже, примерно до 6 – 7 м, значения температуры плавно уменьшались до 1.5 – 1.4 °С и практически не изменялись до 18 м, откуда ко дну отмечалось относительное возрастание температуры морской воды до 1.9 °С в придонном слое. Соленость воды глубже подповерхностного градиентного слоя на 1.5 – 2 м монотонно возрастала ко дну вплоть до 32.5 е.п.с.

Перенос вод у входа в залив (ст. 6264) со скоростями 20 – 38 см/с во всей толще был северо-западным из открытого моря в залив, поперек действующему слабому ветру юго-западного направления. В тонком поверхностном опресненном слое скорости достигали 38 см/с, откуда быстро затухали до 20 см/с на 7 м и увеличивались глубже 20 м до 26 см/с. В придонном слое и у дна они составляли 20-23 см/с.

Во внешней части залива (ст. 6268) структура переноса была переслоенная. Поверхностный 2- 4-метровый слой двигался на запад – северо-запад в залив, против действующего ветра (Рис. 1). Скорость

переноса в этом слое уменьшалась с поверхности от 14 см/с до 5 см/с на 4 м. Глубже, на 5-7 м происходила смена направления потока к юго-западу с увеличением интенсивности до 10-12 см/с. В подстиляющем слое от 8 до 13 м осуществлялось движение вод на юго-запад в сторону южного берега залива со средней скоростью 13.5 см/с. В придонном слое направление переноса сменялось на южное (поперек залива) с увеличением интенсивности до 27 см/с.

В заливе Степового были изучены особенности вертикальной гидрофизической структуры и распределение скоростей переноса в толще вод в двух точках: непосредственно у затопленной на 33 м АПЛ К-27 (ст. 6270); и к востоку от нее в сторону выхода из залива на глубине 23 м (ст. 6270_2) (Рис. 1).

Как и в заливе Абросимова, на поверхности моря наблюдалась относительно теплая (около 5 °С), достаточно опресненная (~ 15.5 е.п.с.) береговым речным стоком вода

В подстиляющем градиентном слое до 2 м происходило падение температуры до 3.5 °С и резкий рост солености до 27.6 е.п.с. Глубже соленость плавно возрастала с глубиной до 33 е.п.с., а температура продолжала заметное уменьшаться до 0.5 °С на 16 м, после чего до глубины 27 м она монотонно опускалась до 0.1 °С. Глубже 28 м и ко дну были зафиксированы отрицательные (до 0.44 °С) значения температуры воды.

Перенос вод у АПЛ К-27 отличался выраженной переслоенностью по глубине. В поверхностном слое до глубины 12 м наблюдалось движение вод в южном и юго-восточном направлении приблизительно по ветру, в сторону южного берега залива. Скорость переноса в этом слое уменьшалась с глубиной от 16 до 3 см/с. В нижележащей толще до 20 м, преобладал восточный перенос с небольшим увеличением скорости до 13 см/с на 17-18 м. Глубже 21 м вновь наблюдался перенос южных румбов (130 – 230 °) достаточно слабой интенсивности (около 5 см/с) и небольшим ростом в придонном слое до 8 см/с.

На выходе из залива (ст. 6270_2) во всей 22-метровой толще наблюдался перенос вод восточных румбов (73–109°) из залива в сторону открытого моря поперек действующего ветру в диапазоне скоростей от 14 см/с на 15 м до 35 см/с в поверхностном слое и до 24-28 см/с в придонном слое.

В сентябре 2020 г. на затопленном объекте АПЛ К-27 (ст. 6915) вновь были проведены исследования. Вертикальная гидрофизическая структура сильно отличалась от картины 2019 г. Температура воды незначительно уменьшалась с 6.6 °С в поверхностном слое до 6.3 °С на

13 м и до 5.6 °С на 20 м. Глубже, ко дну, температура воды резко падала до 1.9 °С на 30 м. Поверхностный слой в 2020 г. был слабо опреснен, в связи с чем больших перепадов солености не наблюдалось: от 30.1 е.п.с. на поверхности моря она увеличивалась до 31.2 е.п.с. на 7 м. Глубже наблюдался монотонный рост солености до 33.2 е.п.с. на 30 м.

Результаты наблюдений показали вертикальную изменчивость интенсивности и направления переноса вод. В тонком поверхностном слое (0 – 3 м) движение воды происходило к северному берегу залива практически по ветру со скоростью 10-12 см/с (Рис. 1). В подстилающем слое до 10 м перенос спирально по часовой стрелке менял с глубиной свое направление на южное (из залива), увеличивая интенсивность до 20 см/с. Глубже, до 25 м скорость переноса плавно уменьшалась до 8.5-8 см/с, его направление оставалось преимущественно юго-западное. Ко дну скорость снижалась до 3-7 см/с, поток вод был направлен из залива на юго-восток.

Позже в этом месте во всей обследованной толще наблюдался перенос западного–северо-западного направления в залив со скоростью, в среднем, 20-22 см/с. При этом его максимальная интенсивность 23-25 см/с была зафиксирована в слое 17-21 м. Ко дну скорость уменьшалась и составляла порядка 8-10 см/с.

Таким образом, по результатам изучения вертикальных распределений гидрофизических характеристик и особенностей динамики вод в обследованных заливах можно сделать следующие выводы:

1. Вертикальная термохалинная структура вод была схожей в обоих заливах: на поверхности моря в результате прогрева наблюдался тонкий теплый и в разной степени опресненный речным и береговым стоками слой, образующий верхнюю часть резкого термо-гало-пикноклина. В подстилающей толще вод наблюдалось плавное понижение температуры и увеличение солености. В придонном слое при практически одинаковой солености (32.5 – 33 е.п.с.) в обоих заливах, в одном случае (залив Абросимова) температура слабо возрастала, оставаясь положительной, в другом (залив Степового) – наблюдалось понижение температуры ко дну с переходом к отрицательным значениям;
2. Динамика вод в заливах характеризовалась вертикальной изменчивостью направления переноса. При этом интенсивность течений в придонном слое была сопоставима с поверхностными значениями.
3. Полученные результаты подтверждают наличие активного водообмена заливов восточного берега Южного острова Новой Земли с прилегающей акваторией Карского моря.

Исследования были проведены в рамках темы Госзадания 0128-2021-0002 (участие в экспедиции) при поддержке проекта РФФИ 18-05-60070 «Арктика» (обработка и анализ полученных данных).

ЛИТЕРАТУРА

1. Флинт М.В., Поярков С.Г., Римский-Корсаков Н.А., Мирошников А.Ю. Экосистемы морей сибирской Арктики – 2019: весенние процессы в Карском море (76-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш») // Океанология. 2020. Т.60. №1. С. 154-157. Doi: 10.31857/S0030157420010104
2. Флинт М.В., Поярков С.Г., Римский-Корсаков Н.А., Мирошников А.Ю. Экосистемы морей сибирской Арктики – 2020 (81-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш») // Океанология. 2021. Т.61. №2. (в печати)

УДК 551.465

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСТАНОВКИ ТЕРМОКОС В ЗАЛИВЕ БЛАГОПОЛУЧИЯ (НОВАЯ ЗЕМЛЯ)

**Очередник В.В., Кременецкий В.В., Медведев И.П., Недоспасов
А.А., Поярков С.Г.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский
проспект, 36. 117997, г. Москва, 8(499)124-59-83, v.ochednik@ocean.ru*

**SOME RESULTS OF SETTING UP THE THERMOCHAINS IN THE
BLAGOPOLUCHIYA BAY (ARCH. NOVAYA ZEMLYA)**

**Ochednik V.V., Kremenetskiy V.V., Medvedev I.P., Nedospasov A.A.,
Poyarkov S.G.**

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36,
Nahimovskiy prospekt, Moscow, Russia, 117997*

В работе приведены некоторые результаты постановки кластера термокос в заливе Благополучия (архипелаг Новая Земля). Изучены короткопериодные временные изменения температуры воды в

акватории залива, а также некоторые характеристики приливных колебаний.

The paper describes some of the results of setting up the cluster of thermochains in the Blagopoluchia Bay (Novaya Zemlya archipelago). The short-time changes of water temperature at the water area of the bay, as well as the tidal characteristics there are presented.

Долговременная постановка термокос на заякоренных буйковых станциях в арктических морях является достаточно редким событием, что связано в первую очередь с наличием ледяного покрова большую часть года, его торошением [1] и наличием дрейфующих айсбергов [2]. Еще одним фактором, затрудняющим постановку станций, является недостаточная изученность батиметрии арктических акваторий.

Наиболее удобными и безопасными являются сравнительно кратковременные постановки измерительных приборов, осуществляемые с малых плавсредств в местах, удаленных от судоходных маршрутов, а также на внутреннем шельфе и в заливах.

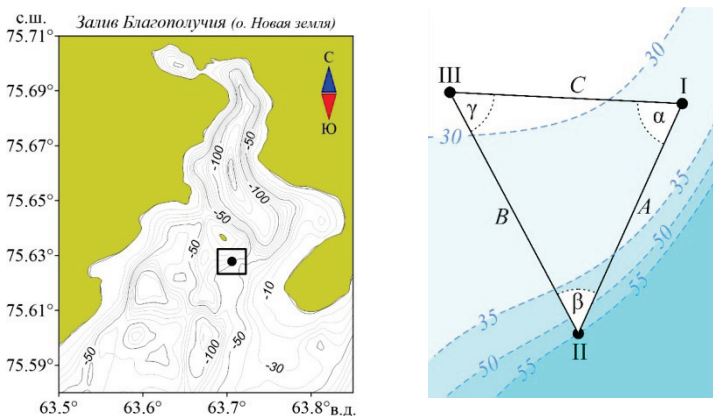


Рис. 1. Место постановки кластера термокос в заливе Благополучия - черная точка в центре прямоугольника (слева) и схема расположения термокос на изобатах (справа): I, II, III – нумерация термокос; α , β , γ – углы образованного треугольника ($\alpha = 68.55^\circ$, $\beta = 52.32^\circ$, $\gamma = 59.13^\circ$); A, B и C – длины сторон треугольника, образующего кластер (A = 117 м, B = 125 м, C = 107 м).

Постановка термокос в заливе Благополучия архипелага Новая Земля в ходе 81 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в количестве трех штук (далее кластер) осуществлялась с целью изучения термической структуры вод залива и ее короткопериодной и мелкомасштабной пространственной изменчивости и регистрации распространения термических фронтов в области кластера (Рис. 1). Место постановки кластера цепочек температурных датчиков и его географическая ориентация выбраны таким образом, чтобы возможное распространение внутренних волн (ВВ) и регистрация термических фронтов осуществлялась на всей его площади. При этом форма кластера близка к равностороннему треугольнику [3].

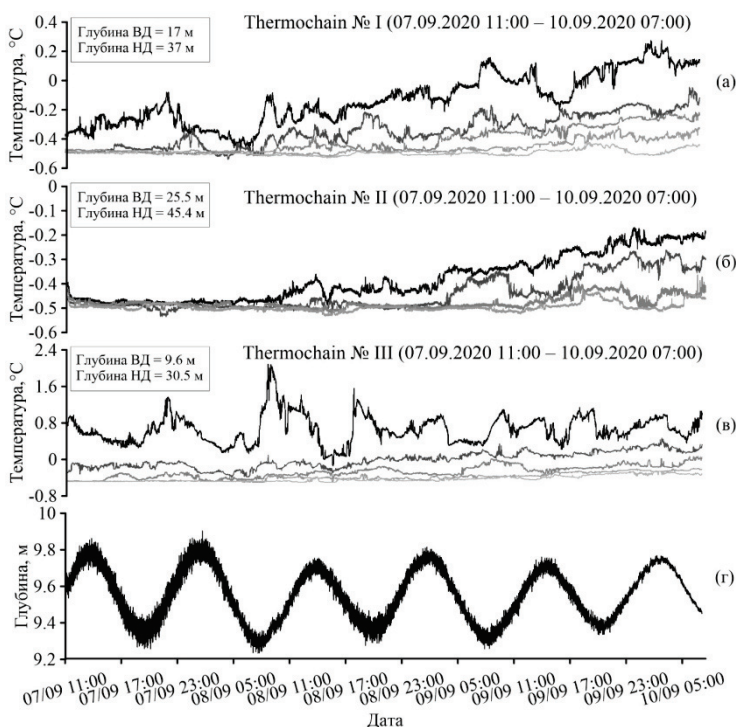


Рис. 2. Распределение температуры по времени в толще воды (темные кривые – верхний датчик, светлые кривые – придонный датчик, прочие кривые - промежуточные горизонты через 5 м сверху-вниз) для термокос: I (а); II (б); III (в); показания подповерхностного датчика давления на термокосу III (г); ВД – глубина на верхнем датчике и НД - на нижнем.

В результате 3х-суточной экспозиции квази-непрерывных (с дискретностью 10 сек) измерений вертикального распределения температуры были выявлены ее короткопериодные колебания и общий положительный тренд в исследуемой области залива.

Из-за существенных перепадов глубины в месте постановки, термоксы регистрировали измеряемые параметры в разных диапазонах ее изменения. Это делало невозможным сопоставление данных измерения температуры и давления на одних и тех же горизонтах для разных термоксов (Рис. 2).

Благодаря высокой точности измерений, удалось зарегистрировать придонные колебания температуры, имеющие амплитуду близкую к точности измерений термодатчиков - 10^{-2} °С, которые невозможно было бы наблюдать при более низкой точности измерения.

В распределении температуры были зафиксированы фронты, отслеживаемые на разных термоксах (Рис. 2). Их распространение в области постановки кластера осуществлялось преимущественно в направлении восточных румбов (Рис. 3), что хорошо сочетается с результатами натурных наблюдений за переносом в толще воды, проведенных на станции ГФЗ.

Скорость распространения температурных фронтов составляла около 30-40 см/с, что несколько больше значений, полученных на станции ГФЗ, расположенной вблизи термоксы III. Полученные результаты согласуются с гипотезой о циклонической циркуляции вод в заливе Благополучия с затокм из открытого моря через восточный пролив и оттоком – через западный [4]

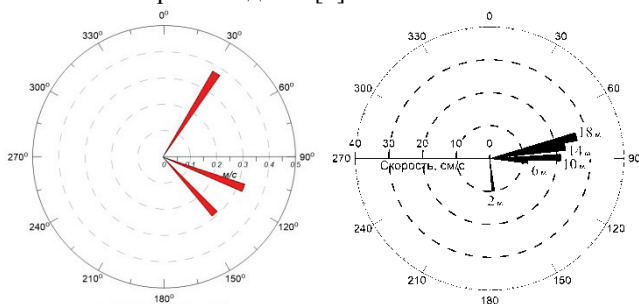


Рис. 3. Распространение температурных фронтов в области постановки кластера в заливе Благополучия (слева) и интенсивность переноса в толще воды по натурным наблюдениям на станции ГФЗ (справа)

На основе квазинепрерывных (с дискретностью 10 с) данных об изменениях давления водного столба на трех термокосах были выделены основные периодические составляющие колебаний уровня в заливе и оценены их периоды и амплитуды. Основная компонента колебаний уровня залива имеет приливное происхождение. В изменениях гидростатического давления (*Рис. 2г*) преобладают полусуточные колебания с размахом до 50 см. Гармонический анализ этих временных рядов позволил выделить компоненту с периодом 12.42 ч, соответствующую главной лунной полусуточной гармонике M2, и лунно-солнечную деклинационную суточную составляющую K1 с периодом 23.93 ч. Амплитуда полусуточной гармонике составила 20 см, суточной – 3 см. Длина записи не превышала 3-х суток, вследствие чего выделение приливных составляющих с большим периодом невозможно. Суперпозиция составляющих M2 и S2 определяет характер приливных колебаний уровня в этом районе.

Температурный режим, пространственные и временные особенности собственных колебаний уровня в заливе, а также подробные характеристики водообмена с учетом морфологии дна возможно после проведения более широкого натурального эксперимента в рамках последующих экспедиций.

Исследования были проведены в рамках темы Госзадания № 0128-2021-0002 (участие в экспедиции) при поддержке грантов РФФИ «Арктика» №18-05-60069 (приборное обеспечение и натурные измерения) и №18-05-60070 «Арктика» (обработка и анализ полученных данных).

ЛИТЕРАТУРА

1. Lucie Strub-Klein & Denise Sudom. A Comprehensive Analysis of the Morphology of First-year Sea Ice Ridges. *Cold Regions Science and Technology* 82 (2012) 94–109. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2012.05.014>
2. David N. Thomas & Gerhard S. Dieckmann. *Sea Ice: An Introduction to its Physics, Chemistry, Biology and Geology*. 2003. ISBN 0-632-05808-0
3. Очередник В. В., Зацепин А. Г., Куклев С. Б., Баранов В. И., Машура В. В. Примеры подходов к исследованию температурной изменчивости вод шельфа Черного моря при помощи кластера термокос. // *Океанология*. 2020. Т. 60. № 2. С. 173 - 185.

4. Степанова С.В., Недоспасов А.А. Особенности гидрофизического и гидрохимического режимов залива Благополучия (Новая Земля) // Океанология. 2017. Т. 57. № 1. С. 75-85.

УДК 551.465

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПРЕСНЕННЫХ РЕЧНЫМ СТОКОМ ОБИ И ЕНИСЕЯ ВОД ПО АКВАТОРИИ КАРСКОГО МОРЯ

Поярков С.Г., Недоспасов А.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский
проспект, 36. 117997, г. Москва, 8(499)124-59-83, poyarkov_sg@mail.ru*

**FEATURES OF DISTRIBUTION OF THE WATERS DESALINATED BY
OB AND YENISEI RUNOFF IN THE KARA SEA**

Poyarkov S.G., Nedospasov A.A.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36,
Nahimovskiy prospekt, Moscow, Russia, 117997*

В работе приведены результаты многолетних исследований поверхностного слоя Карского моря. Выявлена значительная межгодовая изменчивость распространения опресненных вод, определяющаяся величиной и изменчивостью речного стока и ветровых условий над акваторией.

In the paper some results of the Kara Sea surface layer multiyear studies are shown. A significant interannual variability of desalinated waters distribution, which is determined by the magnitude and variability of river runoff and wind conditions over the water area, are revealed.

Вблизи устьев и на прилежащих взморьях великих арктических рек в теплое время года формируется своеобразная опресненная речным стоком вода с повышенной температурой, низкой соленостью и, соответственно, с малой плотностью. Она растекается тонким слоем по поверхности более плотных морских вод, при этом возникают резкие градиенты солености и плотности. С началом сезонного прогрева

тонкий поверхностный слой опресненной воды (ПОС, по [2]), прогревается значительно быстрее, чем окружающие его более соленые и менее стратифицированные морские воды. Поэтому области опресненных речным стоком вод можно идентифицировать по спутниковым изображениям температуры поверхности моря (ТПМ), как пятна более теплой воды.

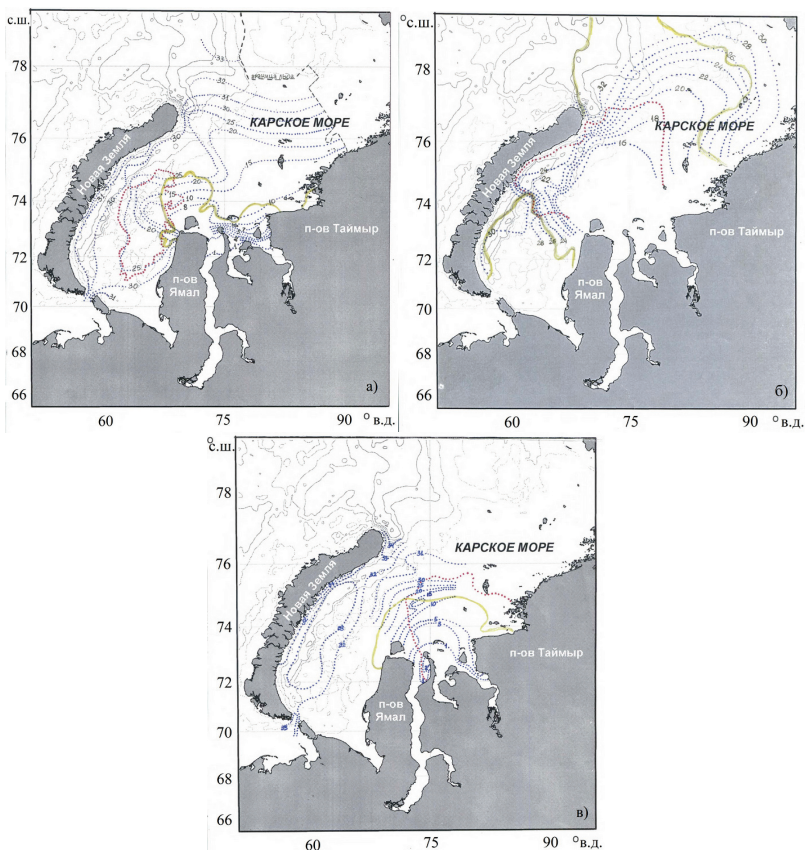


Рис. 1. Распределение солености (е.п.с., синий цвет) в поверхностном слое Карского моря по данным непрерывных измерений судовой проточной STD-системы и конфигурация областей опресненной речным стоком Оби и Енисея теплой (6-10 °С, красный цвет), обогащенной хлорофиллом ($>1.5 \text{ мг/м}^3$, желтый цвет) воды по спутниковым снимкам: а - август–сентябрь 2014 г.; б - август–сентябрь 2015 г.; в - июль–август 2016 г.

В зависимости от объема речного стока и господствующих ветровых условий наблюдаются три типа распространения опресненных речным стоком вод по акватории Карского моря: «западный»; «центральный» (или «веерный»); и «восточный» [3, 4].

При западном типе распространения опресненные воды следуют на запад — юго-запад и в августе-сентябре достигают восточного берега Новой Земли, где свободно проникают в заливы Северного острова архипелага, осуществляя их водообмен с прилегающей акваторией открытого моря, что было убедительно показано в экспедициях Института океанологии РАН, проведенных в последнее десятилетие [5-7]. Подобный тип распространения опресненных вод по акватории осуществлялся в 1993, 2007, 2011 и, частично, в 2015 гг. (*Рис. 1б, таблица*).

Центральный тип характеризуется проникновением опресненных вод далеко на север. В наиболее ярком виде подобный сценарий реализовался в 2015 г. (*Рис. 1б, таблица*).

При восточном типе опресненные речным стоком воды в виде пограничного течения вдоль побережья Таймыра переносятся в сторону моря Лаптевых – например, в августе–сентябре 2014 г. (*Рис. 1а, таблица*).

Проведенная обработка и последующий анализ данных, полученных в ходе экспедиций Института океанологии РАН в период 2014-16 гг. в Карском море позволили выявить особенности распространения опресненных речным стоком Оби и Енисея вод по акватории моря в теплый сезон (июль-сентябрь) разных лет (*Рис. 1, таблица*).

В августе-сентябре 2014 г. (*Рис. 1А*) характерными особенностями распространения по акватории Карского моря опресненных речным стоком Оби и Енисея вод в поверхностном слое являлись:

- наличие хорошо выраженной обособленной области (линзы) более теплых опресненных вод в центре западной части моря с минимальной соленостью 9.2 е.п.с., зафиксированной у 73° 33'с.ш. Эта линза имела свою южную периферию между 72°6' и 72° 58'с.ш., практически совпадая со среднеклиматическим положением южной границы области распространения опресненных вод в западной части моря [1]. Перепад солености на ней составлял примерно от 22 до 18 е.п.с., протяженность на разрезе была 57 км (средний градиент 0.07 е.п.с./км). Северная ее периферия располагалась между 74°8' и 74° 46'с.ш. с перепадом солености на ней от 17 до 28 е.п.с. и локальной протяженностью 37 км

(средний градиент около 0.3 е.п.с./км). В выделенных границах линза простиралась с юга на север приблизительно на 200-225 км;

- проникновение опресненных речным стоком вод к западу в сторону Новой Земли ограничивалось траверзом восточного склона Новоземельской впадины; на север – мощным стационарным динамическим фронтом над континентальным склоном желоба Святой Анны; на восток вдоль Сибирского побережья в сторону пролива Вилькицкого – границей плавучих льдов прошедшей зимы (Рис. 1а).

В августе–сентябре 2015 г. реализовался смешанный тип распространения опресненных речным стоком вод по акватории – центральный и западный, одновременно. Наряду с огромным площадным покрытием моря и дальностью проникновения опресненных вод на север, они уже к августу месяцу достигали Новой Земли и обнаруживались в обследованных заливах восточного берега архипелага (Рис. 1б, таблица).

В отличие от всех предшествующих проведенных исследований в 2015 г. впервые был зарегистрирован прорыв опресненных речным стоком поверхностных вод через фронтальную зону над континентальным склоном желоба Святой Анны на севере Карского моря и поступление их в глубокий Арктический бассейн. Также впервые наблюдалось столь далекое проникновение поверхностного сигнала речного опреснения в восточную часть акватории.

В июле – августе 2016 г. воздействие стока Оби и Енисея на свойства поверхностного опресненного слоя Карского моря было ограничено южной областью мелководья бассейна, примыкающей к речным эстуариям и Обь-Енисейскому взморью (Рис. 1в). Подобная ситуация «прижатости» ареала распространения опресненной речным стоком поверхностной воды к Обь-Енисейскому мелководью предположительно могла иметь место и в августе-сентябре 2013 г. (таблица).

Таблица.

Местоположение области опресненных речным стоком вод на акватории Карского море в разные годы по данным экспедиций Института океанологии РАН

Год, экспедиция НИС	Граница опресненных вод, с.ш.		Ядро опресненной линзы	
	южная	северная	коорд, с.ш. / в.д.	минимум солености, е.п.с.
1993, сентябрь «Дм.Менделеев»	~ 73°	75° - 76° 30'	74° 30' / 064° 40'	9.9

Год, экспедиция НИС	Граница опресненных вод, с.ш.		Ядро опресненной линзы	
	южная	северная	коорд, с.ш. / в.д.	минимум солености, е.п.с.
2007, сентябрь «Ак.Мст.Келдыш»	~ 72°	~ 76°	у восточного берега Нов. Земли	< 16
2011, сентябрь– октябрь «Ак.Мст.Келдыш»	72° 72' - 72° 30'	75° 40' - 76° 15'	у восточного берега Нов. Земли	< 19
2013, август– сентябрь «Проф. Штокман»	72° 49'	?*	?*	?*
2014, август– сентябрь «Проф. Штокман»	72° 26' - 72° 58'	76° 20' - 76° 30'	73° 33' / 065° 30'	9.2
2015, август– октябрь «Ак.Мс.Келдыш»	73° 47' - 73° 57'	~ 78° 30'	75° 40' / 069° 40'	15.8
2016, июль– август «Ак. Мс. Келдыш»	~ 73° (у северной оконечно сти п-ова Ямал)	~ 75° 30' (Обь- Енисейское взморье)	опресненный плюм Обь- Енисейских вод	

?* - не выявлено

Таким образом, проведенный анализ экспедиционных данных 1993, 2007, 2011, 2013-16гг. позволяет говорить о значительной межгодовой изменчивости положения областей, опресненных речным стоком поверхностных вод (их термохалинных характеристик, площадных границ, конфигурации распространения и дальности проникновения) на акватории Карского моря.

Показано, что выявленная изменчивость определяется, главным образом, сезонными и межгодовыми колебаниями интенсивности стока Оби и Енисея наряду с вариациями ветровых условий над акваторией моря от сезона к сезону и от месяца к месяцу, а также влиянием самоорганизующейся на фронтальных границах области опресненных вод (ПОС) квазигеострофической (термохалинной) циркуляции.

Исследования были проведены в рамках темы госзадания 0128-2021-0002 (участие в экспедиции) при поддержке проекта РФФИ 18-05-60069 «Арктика» (обработка и анализ полученных данных).

ЛИТЕРАТУРА

1. Буренков В.И., Васильков А.П. О влиянии материкового стока на пространственное распределение гидрологических характеристик вод Карского моря // *Океанология*. 1994. Т. 34. №5. С.652-661
2. Зацепин А.Г., Завьялов П.О., Кременецкий В.В., Поярков С.Г., Соловьев Д.М. Поверхностный опресненный слой в Карском море // *Океанология*. 2010. Т.50. №5. С. 698-708
3. Морецкий В.Н. Распределение и динамика опресненных вод Карского моря // *Тр. ААНИИ*. 1985. Т.389. С.33-35
4. Русанов В.П., Васильев А.Н. Распространение речных вод в Карском море по данным гидрохимических определений // *Тр. ААНИИ*. 1976. Т.323. С. 188-196
5. Флинт М.В., Зацепин А.Г., Кучерук Н.В., Поярков С.Г., Римский-Корсаков Н.А. Комплексные исследования экосистемы Карского моря (54 рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш») // *Океанология*. 2008. Т.48. №6. С. 942-946
6. Флинт М.В., Поярков С.Г. Комплексные исследования экосистемы Карского моря (128-й рейс научно-исследовательского судна «Профессор Штокман») // *Океанология*. 2015. Т.55. №4. С. 723-726
7. Флинт М.В., Поярков С.Г., Римский-Корсаков Н.А. Экосистемы Российской Арктики-2015 (63-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш») // *Океанология*. 2016. Т.56. №3. С. 499-501. DOI:10.7868/S0030157416030060

**ЯХТЕННАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ: 15-ЛЕТНИЙ ОПЫТ
ИССЛЕДОВАНИЙ НА ШЕЛЬФЕ**

Серебряный А.Н.^{1,2}

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-59-58,
serebryany@hotmail.com*

² *АО «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева, ул. Шверника,
4, 117036, г. Москва*

**YACHTING OCEANOLOGY: 15 YEARS OF EXPERIENCE IN THE
SHELF RESEARCH**

Serebryany A.N.^{1,2}

¹ *Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

² *N.N. Andreyev Acoustics Institute,
4, Shvernik Str, Moscow, 117036*

В докладе дается обзор результатов океанологических исследований автора, проведенных за последние 15 лет на морских шельфах в рамках применения методики яхтенной океанологии.

The paper provides an overview of the results of the author's oceanologic studies carried out over the past 15 years on sea shelves in the framework of the application of the yacht oceanology methodology.

Современный технический прогресс приводит к совершенствованию методов и приборной базы океанологических исследований. Приборы становятся более совершенными, компактными и удобными в эксплуатации по сравнению с теми, которые были несколько десятилетий назад. Это обстоятельство приводит к тому, что их использование становится возможным с малых судов, что значительно удешевляет проведение работ и облегчает их организацию, а также позволяет проводить морские эксперименты в более динамичном режиме. Наиболее применимы эти преимущества для исследований на шельфах морей. Мы начали проводить активные

гидрофизические исследования шельфовой зоны Черного моря с применением доплеровского акустического профилометра (ADCP) марки “Rio Grande 600 kHz” с начала нулевых годов. Особенностью проводимых экспериментов было использование моторных лодок, катеров, а также яхт вместе с помещаемым на них компактным измерительным оборудованием (ADCP, минизонды и др.), позволяющим собрать необходимую информацию о процессах и явлениях, происходящих на шельфе и в прибрежной зоне. Научная группа в количестве нескольких человек, обученных работой с приборами, успешно справлялась с работой, связанной с выходами в море в пределах светлого времени суток. Совокупность применяемых методик сбора информации с оборудованных набором компактных океанологических приборов моторных лодок или яхт, мы называем методами «яхтенной океанологии». В данном докладе мы дадим краткий обзор наиболее интересных результатов, которые дала яхтенная океанология за 15 лет нашей работы на шельфе.

Исследования течений. Проведение пространственных съемок с малого судна, оборудованного ADCP, дает возможность восстановить картину течений по глубине акватории съемки. Повторные съемки позволяют проследить за пространственно-временной изменчивостью картины течений. Нами на протяжении многих лет исследовались течения на шельфе у Геленджика, а также на шельфе Абхазии. В последнем районе акцент съемок делался на изучении особенностей течений в местах впадения в море крупных рек. По полученным данным был многократно подтвержден бимодальный характер течений на черноморских шельфах. Были определены характерные зависимости силы течения от расстояния до берега, измерены величины максимальных течений, и многие другие важные характеристики течений. Измерения течений и других гидрологических параметров на шельфе проводились также в рамках экспериментов по акустической томографии [1].

Исследование субмезомасштабных вихрей. Много раз во время съемок на шельфе встречались субмезомасштабные топографические вихри. Регистрировались как циклонические, так и антициклонические вихри. В нескольких случаях были проведены детальные многосуточные наблюдения по измерению характеристик проходящего вихря [2].

Исследования внутренних волн. Методика яхтенной океанологии с применением ADCP для изучения внутренних волн на шельфе оказалось весьма плодотворной. Съемки ADCP дополнялись сбором гидрологических параметров на акватории, а также

измерениями заякоренными, термогирляндами. Ареал исследований внутренних волн помимо Черного моря включал в себя также шельф Японского моря. Применявшаяся методика дала возможность не только регистрировать внутренние волны, измерять их параметры, но также связывать появление волн с процессами, ответственными за их генерацию. Получены экспериментальные доказательства генерации внутренних волн проходящим по шельфу антициклоническим вихрем. Недавно в результате цикла проведенных многолетних измерений удалось зарегистрировать внутренние волны рекордных для Черного моря 15-метровых амплитуд [3]. С помощью совместного мониторинга ADCP на яхте с установленной на берегу панорамной фотокамерой выявлены особенности сгенерированных приливом внутренних солитоноподобных волн, подходящих в прибрежную зону моря [4].

Проведение подспутниковых экспериментов. С 2006 г. на акватории моря, прилегающей к Геленджикю, мы начали проводить подспутниковые эксперименты, основной целью которых было путем объединения данных космического дистанционного зондирования поверхности моря с данными одновременных контактных измерений в толще моря, продвинуться в понимании динамических процессов, происходящих на шельфе [5]. Мы также проводили контактные измерения в подспутниковых экспериментах по мониторингу антропогенного воздействия на прибрежные акватории моря [6].

Наблюдение аномальных явлений. В связи с проведенным за 15 лет большим объемом измерений мы неоднократно попадали в необычные ситуации, которые сопровождалась регистрацией аномальных явлений. Среди них были встреча с волной - убийцей; регистрация сильного поверхностного течения, сгенерированного проходящим над морем шквалом [4]; обнаружение долговременного сопровождения цуга интенсивных внутренних волн косяком рыб над шельфом [8]. Наблюдались и другие необычные явления.

Недавно появившееся сообщение об успешном опыте использования яхты сотрудниками ИОРАН для исследования глубоководного планктона в Индийском океане, говорит о реальных перспективах яхтенной океанологии выйти за пределы исследований на шельфе в глубоководные воды.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0128-2021-0010) и при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00715.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаров, В.В. Акустическая томография на шельфе Черного моря / В.В. Гончаров, В.Н. Иванов, О.Ю. Кочетов, Б.Ф. Курьянов, А.Н. Серебряный // Акустический журнал. - 2012. - Т. 58. - №.5 - С. 614 – 622.
2. Серебряный, А.Н. Антициклонический вихрь на шельфе северо-восточной части Черного моря: совместный анализ космических снимков и данных акустического зондирования толщи моря / А.Н. Серебряный, О.Ю. Лаврова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. – Вып. 5. - Т. 2. - С. 206 – 215.
3. Бондур, В.Г. Аномальный цуг внутренних волн рекордных высот на шельфе Черного моря, генерируемый атмосферным фронтом / В.Г. Бондур, А.Н. Серебряный, В.В. Замшин // Доклады АН. - 2018. - Т. 483. - № 4. - С. 431-436.
4. Serebryany, A.N. New data on internal waves on the sea shelf based on combined monitoring with a panoramic camera and ADCP / A.N. Serebryany, O.G. Konstantinov // Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa – 2020 - Vol. 17- No. 6 – P. 122–126.
5. Лаврова, О.Ю. Изучение гидродинамических процессов в шельфовой зоне на основе спутниковой информации и данных подспутниковых измерений / О.Ю. Лаврова, М.И. Митягина, К.Д. Сабинин, А.Н. Серебряный // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. - Т. 12. - №.5. - С. 98 - 129.
6. Бондур, В.Г. Мониторинг антропогенных воздействий на прибрежные акватории Черного моря по многоспектральным космическим изображениям / В.Г. Бондур, В.Е. Воробьев, В.В. Замшин, А.Н. Серебряный, А.А. Латушкин, М.Е. Ли, О.В. Мартынов, А.П. Хурчак, Д.В. Гринченко // Исследование Земли из космоса. - 2017. - №6. - С. 3-22.
7. Серебряный, А.Н. Наблюдение аномальных явлений в море посредством ADCP/ А.Н. Серебряный // Акустика океана. Доклады 17-ой школы-семинара акад. Л.М. Бреховских. М.: ИОРАН, 2020. - С. 394-403.
8. Бондур, В.Г. Регистрация косяков рыб, привлекаемых солитонами интенсивных внутренних волн / В.Г. Бондур, А.Н. Серебряный, В.В. Замшин // Доклады РАН, Науки о Земле. - 2020. - Т. 492. - № 2. - С. 94-98.

**ВНУТРЕННИЕ ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ В ОКЕАНЕ С
ФОНОВЫМИ СДВИГОВЫМИ ТЕЧЕНИЯМИ**

Булатов В.В., Владимиров Ю.В.

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

**INTERNAL GRAVITATIONAL WAVES IN THE OCEAN WITH
BACKGROUND SHEAR CURRENTS**

Bulatov V.V., Vladimirov Yu.V.

Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics, Russian Academy of Sciences,
Vernadsky Ave. 101-1, 119526, Moscow

Исследована динамика внутренних гравитационных волн в стратифицированном океане с фоновым сдвиговым течением. Рассмотрено модельное распределение сдвигового течения по глубине и получено аналитическое решение задачи в виде характеристической функции Грина, которое выражается через модифицированные функции Бесселя мнимого индекса. С помощью дебаевских асимптотик модифицированной функции Бесселя получены аналитические выражения для дисперсионных соотношений, исследованы фазовые характеристики волновых полей. Исследованы зависимости волновых характеристик возбуждаемых полей от основных параметров использованных моделей стратификации, течений и режимов генерации.

The dynamics of internal gravity waves in stratified ocean with shear flow is considered. The model depth distribution of the shear flow is considered and an analytical solution to the problem is obtained in the form of the characteristic Green's function, which is expressed through the modified Bessel functions of the imaginary index. Using the Debye asymptotics of the modified Bessel function, analytical expressions for dispersion relations are obtained, and phase characteristics of wave fields are investigated. The dependences of the wave characteristics of the excited fields on the main parameters of the stratification models used, the flows, and the generation

modes are investigated.

Среди большого многообразия наблюдаемых волновых процессов различной физической природы в океане и атмосфере Земли особое место вызывает взаимодействие возбуждаемых волн с гидродинамическими потоками. Движение стратифицированной среды является одним из основных факторов, влияющих на динамику внутренних гравитационных волн, как в естественных условиях, так и в технических устройствах. В линейном приближении существующие подходы к описанию волновой картины возбуждаемых полей внутренних гравитационных волн основаны на представлении волновых полей интегралами Фурье и их асимптотическом анализе. В реальных океанических условиях необходимо рассматривать внутренние гравитационных волн, распространяющиеся на фоне средних течений с вертикальным сдвигом скорости, причем вариация скорости по вертикали составляет десятки см/сек и м/сек, то есть имеет тот же порядок, что и максимальные скорости внутренних гравитационных волн. Такие течения должны существенно сказываться на распространении внутренних гравитационных волн. Для моделирования генерации внутренних гравитационных волн точечным источником в реальном океане можно считать крутой склон поперечного хребта в проливах, который обтекается сдвиговым течением и периодическим приливным течением. Если масштаб изменения течений по горизонтали много больше длин внутренних гравитационных волн, а масштаб временной изменчивости много больше периодов внутренних волн, то естественной математической моделью является случай стационарных и горизонтальных однородных сдвиговых течений. На больших расстояниях реальные источники возмущений (тайфун, возмущения атмосферного давления, циклон) допускают физически обоснованную аппроксимацию некоторой системой точечных локализованных источников, взятых с определенными весами. Точечным нестационарным источником генерации в реальном океане можно считать крутой склон поперечного хребта в проливах, который обтекается сдвиговым течением и периодическим приливным течением. Такой подход является физически обоснованным для решения многих задач моделирования генерации внутренних гравитационных волн в океане с учетом сдвиговых течений [1-5].

Целью настоящей работы является построение аналитических решений, описывающих поля внутренних гравитационных волн от осциллирующего источника возмущений в стратифицированной среде с

учетом сдвиговых течений. Рассматривается слой вертикально стратифицированной среды глубины H , $(U(z), V(z))$ - вектор сдвигового течения на горизонте z . Исходной для анализа является линеаризованная система уравнений гидродинамики относительно невозмущенного состояния, которая имеет вид

$$\rho_0 \frac{DU_1}{Dt} + \frac{\partial p}{\partial x} = 0, \rho_0 \frac{DU_2}{Dt} + \frac{\partial p}{\partial y} = 0, \rho_0 \frac{DW}{Dt} + \frac{\partial p}{\partial z} + \rho g = 0$$

$$\frac{\partial U_1}{\partial x} + \frac{\partial U_2}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0, \frac{\partial p}{\partial t} + W \frac{\partial \rho_0}{\partial z} = 0, \frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + U(z) \frac{\partial}{\partial x} + V(z) \frac{\partial}{\partial y}$$

где (U_1, U_2, W) - компоненты возмущенной скорости, (p, ρ) - возмущения давления и плотности, $\rho_0(z)$ - невозмущенная плотность среды. Воспользовавшись приближением Буссинеска, можно получить уравнение для вертикальной компоненты скорости

$$\frac{D^2}{Dt^2} \left(\Delta + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) W - \frac{D}{Dt} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \frac{\partial W}{\partial x} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \frac{\partial W}{\partial y} \right) + N^2(z) \Delta W = Q(t, x, y, z)$$

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}, N^2(z) = - \frac{g}{\rho_0(z)} \frac{d\rho_0(z)}{dz}$$

где $N^2(z)$ - квадрат частоты Брента-Вяйсяля (частоты плавучести), g - ускорение свободного падения, $Q(t, x, y, z)$ - плотность распределения источников. Граничные условия берутся в виде (вертикальная ось z направлена вверх): $W = 0$ при $z = 0, -H$. Частота плавучести предполагается постоянной: $N(z) = N = const$ и течение одномерным: $V(z) \equiv 0$. Функция $U(z)$ - линейная функция глубины: $U(z) = U_0 + (U_0 - U_H)z/H$, где $U_0 = U(0)$, $U_H = U(-H)$. Использование данной модельной гидрологии широко применяется в реальных океанологических расчетах и позволяет учитывать основные особенности волновой динамики с учетом реальной изменчивости плотности морской среды, наблюдаемой при натурных измерениях внутренних гравитационных волн в океане, а также исследовать задачу аналитически. Ненулевая правая часть берется в виде $Q(t, x, y, z) = q\delta(x)\delta(y)\delta(z - z_0)\exp(i\omega t)$, то есть рассматривается функция Грина для осциллирующего точечного источника возмущений, расположенного на глубине z_0 .

Для решения задачи было использовано постоянное

распределение частоты плавучести и линейная зависимость сдвигового течения от глубины. Используя модельную гидрологию, получены аналитические выражения, описывающие дисперсионные зависимости, которые выражаются через модифицированную функцию Бесселя мнимого индекса. При выполнении условия устойчивости Майлса и больших числа Ричардсона для построения аналитических решений были использованы дебаевские асимптотики модифицированной функции Бесселя мнимого индекса. Подробно изучены свойства дисперсионного уравнения и исследованы основные аналитические свойства дисперсионных кривых. В приближении стационарной фазы построены интегральные представления решений для дальних волновых полей. Численно рассчитаны фазовые картины возбуждаемых полей внутренних гравитационных волн для данной модели волновой генерации (рис.1). Полученные результаты показывают значительную зависимость фазовой структуры возбуждаемых волновых полей от соотношения амплитуд придонного и приповерхностного течений для различных гидрологических моделей.

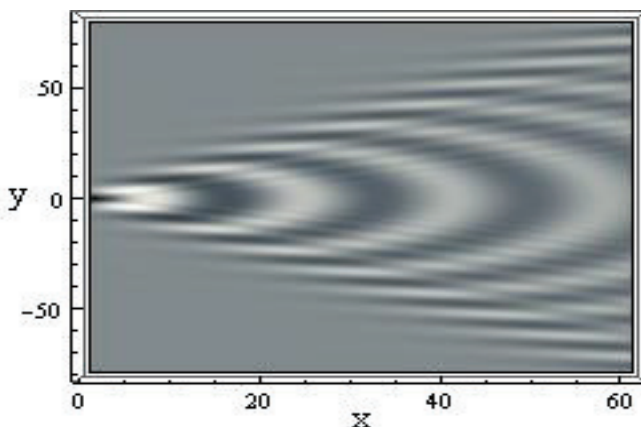


Рис. 1. Внутренние гравитационные волны в стратифицированном океане с фоновыми сдвиговыми течениями.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проект №20-01-00111А.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булатов, В.В., Владимиров, Ю.В. Динамика негармонических

волновых пакетов в стратифицированных средах. - М.: Наука, 2010. - 470 с.

2. Bulatov, V.V., Vladimirov, Yu.V. Wave dynamics of stratified mediums. - М.: Наука, 2012- 584 с.

3. Булатов, В.В., Владимиров, Ю.В. Волны в стратифицированных средах. - М.: Наука, 2015. -735 с.

4. Bulatov, V.V., Vladimirov, Yu.V. Analytical approximations of dispersion relations for internal gravity waves equation with shear flows // Symmetry. - 2020. - №12(11). - P.1865.

5. Bulatov, V.V., Vladimirov, Yu.V. Dynamics of internal gravity waves in the ocean with shear flows // Russian J. Earth Sciences. - 2020. - №20. - ES4004.

УДК 551.465

ИЗМЕРЕНИЕ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ШЕЛЬФЕ АКУСТИЧЕСКИМ ТОМОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Гончаров В.В.¹, Курьянов Б.Ф.¹, Серебряный А.Н.^{1,2}

¹*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-61-49, gvv@ocean.ru,
serebryany@hotmail.com*

²*АО "Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева"
ул. Шверника, д. 4, 117036, г. Москва*

MEASUREMENT OF INTERNAL WAVES ON THE SHELF BY THE ACOUSTIC TOMOGRAPHIC METHOD

Goncharov V.V.¹, Kuryanov B.F.¹, Serebryany A.N.^{1,2}

¹*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

²*Andreyev Acoustics Institute, Shvernik st., 4, Moscow, 117036*

Данные акустического томографического эксперимента на Черном море используются для извлечения характеристик присутствовавших на шельфе внутренних волн. Результаты измерений, проведенных акустическим методом, подтверждены сопоставлением с измерениями гирлянды термисторов.

The data of the acoustic tomographic experiment in the Black Sea are used to extract the characteristics of the internal waves present on the shelf. The results of measurements carried out by the acoustic method are confirmed by comparison with measurements of a string of thermistors.

Акустическая томография - перспективный инструмент для исследований динамики морской среды, возможности которого еще не до конца исследованы. В 2010 г. на шельфе Черного моря был проведен томографический эксперимент по встречному распространению фазоманипулированных акустических сигналов [1]. По данным о временной изменчивости откликов среды на акустические сигналы была восстановлена картина течений и скорости звука на акватории [1,2]. Настоящий доклад посвящен извлечению информации о внутренних волнах из данных этого томографического эксперимента.

В расстановке эксперимента были 3 трансивера, расположенных в углах равнобедренного треугольника со сторонами около 1100 м. Они находились на удалении более 2 км от Голубой бухты, где глубина моря около 40 м. Заякоренная гирлянда термисторов для регистрации внутренних волн была установлена рядом с треугольником на глубине 35 м. На рис. 1 показан временной ход откликов среды за все время эксперимента для трассы 1-2, расположенной почти параллельно береговой черте. Для дальнейшего анализа был выбран участок записи

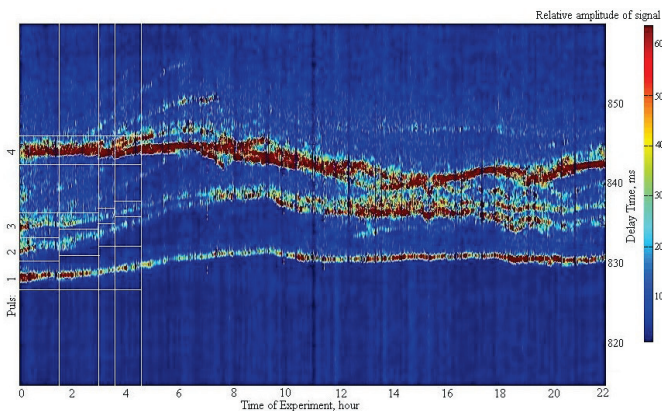


Рис. 1. Изменение времен пробега для четырех групп сигналов на трассе 1–2. По абсциссе отложено текущее время с начала эксперимента, по ординате - время прохождения сигналов в мс.

с начала эксперимента длиной 270 мин. Восстановление параметров среды велось методом согласованных временных откликов [3].

В результате после последовательного применения необходимых процедур метода были получены оценки амплитуд внутренних волн пересекающих акустическую трассу. Восстановленная реализация внутренних волн и ее частотный спектр показаны на рис. 2. Причем сверху рисунка приведена реализация внутренних волн (синяя линия) вместе с ее усредненной по 20-минутному интервалу версией (сиреневая линия). Их разность показана на рисунке, помещенном в середину. Это запись внутренних волн с убранным трендом. Обращают на себя внимание пики спектра на частотах 2.5 и 4 ц/ч, а также в диапазонах 6-8 и 10-12 ц/ч. Обратившись к исходной реализации можно заметить, что в первый час наблюдений проходили короткопериодные волны с периодами около 5 мин, а затем вместе с начавшимся постепенным уходом термоклина вверх, стали преобладать волны больших периодов (15-20 мин). Высоты волн лежали в пределах от 0.5 м до 1 м. Отмеченный тренд термоклина, продолжавшийся 3 ч, составил 4 м. Все описанные характеристики типичны для внутренних волн черноморских шельфов и для конкретного района, где проводился эксперимент. Здесь внутренние волны распространяются фронтами, ориентированными параллельно береговой черте, и движутся к берегу [4,5].

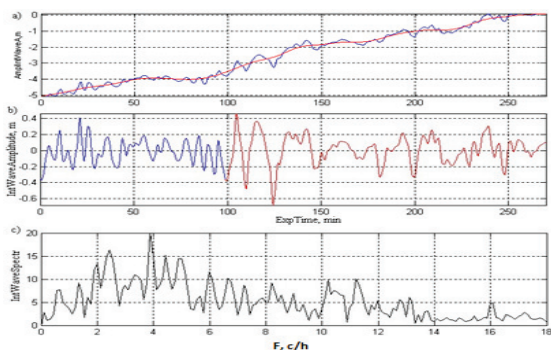


Рис. 2. Реализация внутренних волн и ее спектр (внизу).

Сравнение записи внутренних волн, полученной акустическим методом с записью гирлянды термисторов, представленной на рис.3, подтверждает полное совпадение реализаций внутренних волн, зарегистрированных обоими способами. Красным прямоугольником на

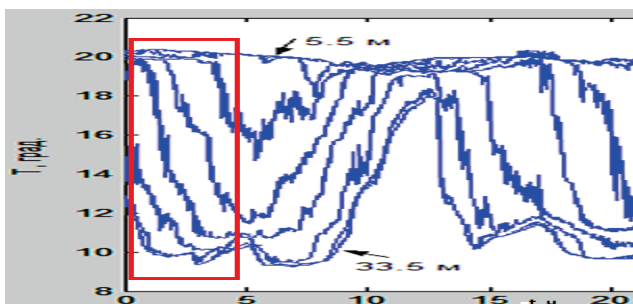


Рис.3. Запись гирлянды термисторов за время эксперимента.

рис.3 выделена часть записи термогирлянды для которой проводилась обработка акустического эксперимента. Рис. 4 дает более детальное представление, на котором можно увидеть все выявленные детали: тренд термоклина с охлаждением вод и характерные короткопериодные внутренние волны.

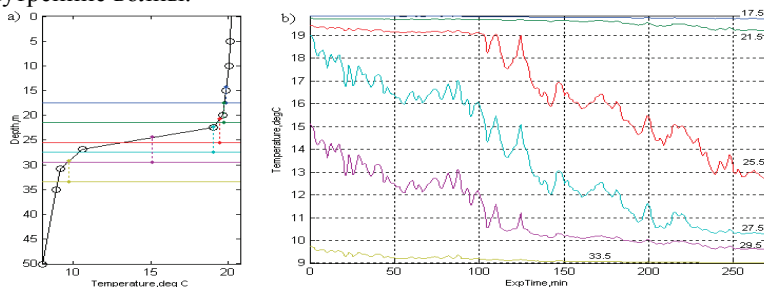


Рис. 4. (a) профиль T, и (b) ход температуры на отдельных горизонтах.

Работа выполнена в рамках темы госзадания Минобрнауки № 0128-2021-0010, а также при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00715.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаров, В.В. Акустическая томография на шельфе Черного моря / В.В. Гончаров, В.Н. Иванов, О.Ю. Кочетов, Б.Ф. Курьянов, А.Н. Серебряный // Акустический журнал. - 2012. - Т. 58. - №.5 - С. 614 – 622.
2. Goncharov, V. Local acoustic tomography on shelf of the Black Sea / V. Goncharov, B. Kuryanov, A. Serebryany // Hydroacoustics. - 2013. – V. 16. - P. 67 – 76.

3. Гончаров, В.В. Метод согласованных временных откликов в акустической томографии океана / В.В. Гончаров // Акустический журнал. - 1997. - Т. 43. - №.5 - С. 622 – 629.
4. Лаврова, О.Ю. Изучение гидродинамических процессов в шельфовой зоне на основе спутниковой информации и данных подспутниковых измерений / О.Ю. Лаврова, М.И. Митягина, К.Д. Сабинин, А.Н. Серебряный // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. - Т. 12. - №.5. - С. 98 - 129.
5. Очередник, В.В. Примеры подходов к исследованию температурной изменчивости вод шельфа Черного моря при помощи кластера термокос / В.В. Очередник, А.Г. Зацепин, С.Б. Куклев, В.И. Баранов, В.В. Машура // Океанология. - 2020. - Т. 60. - №.2 - С. 173 – 185.

УДК 551.465.7

О ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЕ МУЛЬТИДЕКАДНОЙ ОСЦИЛЛЯЦИИ ТЕПЛОСОДЕРЖАНИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА

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

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

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

ON THE SPACE-TIME STRUCTURE OF THE MULTI-DECADAL
OSCILLATION OF THE HEAT CONTENT OF THE WORLD OCEAN

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

¹*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences
36, Nakhimovskiy prospect, Moscow, 117997*

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

Рассматривается феномен Мультидекадной Осцилляции Теплосодержания Океана (МОСТОК). Установлено, что МОСТОК – это планетарная структура, которая проявляется флуктуацией теплосодержания слоя главного термоклина (0–1000 м) Мирового океана (МО).

The phenomenon of the Multi-decadal Oscillation of the Heat content in the Ocean” (МОНО) is considered. It is established that the МОНО is a planetary structure, which is manifested by a fluctuation in the heat content of the main thermocline layer (0–1000 m) of the World Ocean (WO).

Результаты многолетних исследований изменчивости термической структуры Мирового океана в ряде его информативных районов [1, 2] позволили сформулировать гипотезу о наличии мультидекадной (около 60 лет) осцилляции теплосодержания океана (МОСТОК).

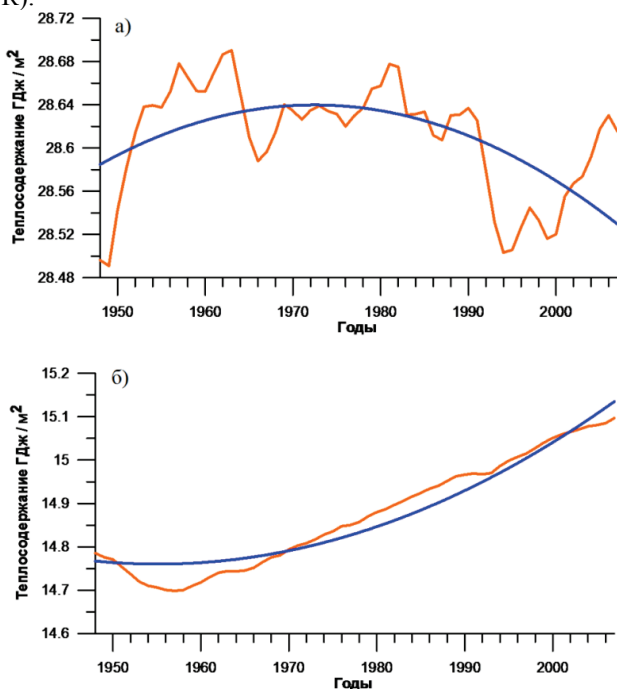


Рис. 1. Эволюция теплосодержания Мирового океана и её квадратичный тренд в слоях: а) 0–1000 м (ВДС), б) 1000–5500 м

Сложилось представление о том, что наблюдаемые особенности динамики современного климата [3–5] обусловлены процессами внутрисистемного (МО–атмосфера–континенты) перераспределения тепла, источником которого является верхний деятельный слой (ВДС) МО (0–1000 м).

Пространственно-временная структура ГАО детально анализировалась в ряде работ, а структура МОСТОК была установлена лишь гипотетически и заслуживает более глубокого рассмотрения. На рис. 1 представлена эволюция теплосодержания МО в ВДС (0–1000 м) и в глубинном (1000–5500 м) слое.

Как следует из рис. 1, теплосодержание ВДС испытывает мультидекадные возмущения, что согласуется и с мультидекадными изменениями планетарной атмосферы, и с изменениями теплосодержания в информативных районах МО [3–5]. В глубинном слое (1000–5500 м) ход теплосодержания имеет иной характер – оно практически линейно возрастает в течение рассматриваемого периода.

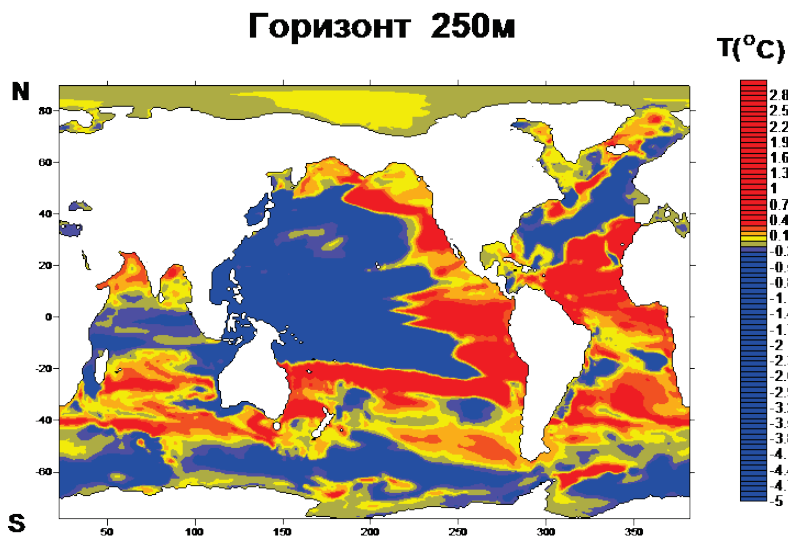


Рис. 2. Мультидекадные возмущения поля температуры (°C) Мирового океана на горизонте 250 м от фазы 1948–1974 гг. к фазе 1975–1999 гг.

Эволюция теплосодержания МО демонстрирует в выделенных слоях наличие двух различных режимов изменчивости. Это означает существование различных источников формирования подобной

структуры. МОСТОК выражена в ВДС (0–1000 м), в котором сосредоточен главный термоклин МО. Особенности ее пространственной структуры представлены мультидекадным возмущением поля температуры воды (рис. 2) в слое главного термоклина.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, тема № 0128-2021-0003

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. 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. DOI: 10.1007/s00024-017-1557-3.
2. Бышев В.И., Фигуркин А.Л., Анисимов И.М. Междекадная изменчивость термической структуры вод верхнего деятельного слоя на северо-западе Тихого океана // *Доклады Академии наук*. 2017. Т. 477. № 2. С. 240–244.
3. Бышев В.И., Серых И.В., Сидорова А.Н., Скляров В.Е., Анисимов М.В. Океанический фактор мультидекадной изменчивости современного климата и перспективы её мониторинга // *Океанологические исследования*. 2018. Т. 46. № 3. С. 5–19. DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2018.46(3).1.
4. Романов Ю.А., Нейман В.Г., Бышев В.И., Серых И.В., Сонечкин Д.М., Гусев А.В., Кононова Н.К., Пономарев В.И., Сидорова А.Н., Фигуркин А.Л., Анисимов М.В. Общая оценка статистической значимости и климатической роли глобальных атмосферных и океанических осцилляций // *Океанологические исследования*. 2019. Том 47. № 2. С. 76–99. DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2019.47(2).6.
5. Бышев В.И., Анисимов М.В., Гусев А.В., Грузинов В.М., Сидорова А.Н. О мультидекадной осцилляции теплосодержания Мирового океана // *Океанологические исследования*. 2020. Т. 48. № 3. С. 76–95. DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2020.48(3).5.

**СОВРЕМЕННЫЕ ГЛОБАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ
ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ: ОЦЕНКА И ПЕРСПЕКТИВЫ
ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ НА АКВАТОРИЯХ
МИРОВОГО ОКЕАНА**

**Михайлов П.С.^{1,2}, Конешов В.Н.¹, Погорелов В.В.^{1,2},
Соловьев В.Н.¹, Железняк Л.К.¹**

¹ *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН,
Б. Грузинская, 10, стр. 1, 123242, г. Москва,
8(499)766-26-56, paulmikh@mail.ru, direction@ifz.ru*

² *Научно-технологический университет "Сириус", Олимпийский
проспект, 1, 354340, г. Сочи,
8(800)100-76-63, info@sirisuniversity.ru*

**MODERN GLOBAL GRAVITATIONAL FIELD MODELS:
ASSESSMENT AND PROSPECTS FOR PRACTICAL APPLICATION
IN THE WORLD OCEAN**

**Mikhailov P.S. 1,2, Koneshov V.N. 1, Pogorelov V.V. 1,2,
V. N. Soloviev 1, Zheleznyak L.K. one**

¹ *Institute of Physics of the Earth named after O.Yu. Schmidt RAS,
B. Gruzinskaya, 10, p. 1, 123242, Moscow,*

² *Science and Technology University "Sirius", Olympiyskiy prospect, 1,
354340, Sochi,*

В докладе описаны погрешности метода спутниковой альтиметрии, метода априорной оценки глобальных моделей и направления будущих экспедиционных и математических исследований, направленных на возможность практического применения глобальных моделей гравитационного поля Земли.

The report describes the errors of the satellite altimetry method, the method of a priori assessment of global models and the directions of future expeditionary and mathematical research aimed at the possibility of practical application of global models of the Earth's gravitational field.

Глобальное гравитационное поле Земли (ГПЗ) достаточно

подробно изучено над акваториями Мирового океана. Наиболее точным методом измерения ГПЗ до сих пор является морская гравиметрия. С применением новейших морских гравиметров съемка может выполняться с точностью 0.5 мГал и выше, при этом ее разрешение определяется только шагом съемочной сети. Основные задачи морской гравиметрии связаны с поиском и картированием месторождений полезных ископаемых, а также вычислением навигационных параметров поля таких, как уклонение отвесной линии (УОЛ) и горизонтальный градиент (вторая производная).

С появлением спутниковых методов измерения ГПЗ меняется принцип сбора гравиметрических данных. Современные глобальные модели ГПЗ, построенные на основе альтиметрических измерений, обеспечивают разрешение предоставляемых данных в 1' (~1852 метра). Известны основные ограничения для практического применения таких моделей: отсутствие надежных данных в полярных регионах Земли, зонах перехода «суша-море» и градиентных областях. Таким образом, использование глобальных моделей для основных практических задач сводится к оценкам степени их адекватности в определенных районах. При необходимости их коррекция может выполняться по данным прямых измерений.

Современная глобальная модель ГПЗ является комбинированным решением, то есть содержит данные разноточных источников, включающих также и прямые инструментальные измерения. Однако основной массив данных получен средствами альтиметрии, поэтому погрешности моделей являются следствием погрешностей этого метода и его обработки. Погрешность определения аномалий силы тяжести методом альтиметрии можно разделить на суммарную погрешность единичного измерения и погрешности их последующей обработки. Согласно [1] погрешность одного альтиметрического измерения включает следующие ошибки:

$e = eorbit + etides + erange + eretrack + eenvironment + enoise$, где ***eorbit*** – ошибка определения эфемерид спутников; ***erange*** – ошибка дальности; ***eretrak*** – ошибка схождения повторных измерений; ***etides*** – ошибка приливного эффекта; ***eenvironment*** – ошибка из-за наличия морского льда или берега; ***enoise*** – дополнительный шум измерений.

Первая группа ошибок (***eorbit***, ***erange***, ***eretrak***) определяет глобальную точность метода, а вторая группа (***etides***, ***eenvironment***, ***enoise***) обуславливает его региональную неравноточность и пространственные ограничения. Одной из основных источников погрешностей, возникающих в процессе обработки альтиметрии, являются параметры фильтрации. В альтиметрических измерениях

присутствует шум, вызванный рядом факторов. Для его сглаживания используется специальный адаптивный фильтр. Этот фильтр использует эмпирический параметр, настраиваемый по локальным характеристикам поля. Глобально параметр фильтрации варьируется по ширине окна от 5 до 16 км и определяет разрешение получаемых в итоге данных. При этом максимальное значение параметра фильтрации используется там, где белый шум в измерениях априорно выше: области севернее 75° с.ш., прибрежные и градиентные зоны [1]. Следовательно, в высоких широтах, даже над абиссальными равнинами, качество модельных данных должно быть ниже. При этом повышение инструментальной точности альтиметрического метода, а также рост количества повторных измерений способствует уменьшению амплитуды белого шума и, как следствие, увеличению точности последующих моделей.

Наиболее достоверной глобальной моделью гравитационного поля в Мировом океане на данный момент является последняя версия альтиметрической модели семейства Sandwell and Smith v29 (https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi), опубликованная осенью 2020г. В ИФЗ РАН выполнен анализ погрешностей этой модели на большом объеме высокоточных морских гравиметрических съемок над различными структурами Мирового океана. Некоторые результаты этих сравнений представлены в Таблице 1:

Структура Мирового океана	Макс. отклонение, мГал	Мин. отклонение, мГал	СКО, мГал
Срединно-океанический хребет (СОХ)	19.92	-11.75	2.78
Континентальный склон	4.88	-8.56	2.01
Равнина (75 с. ш.)	1.92	-1.79	0.72
Равнина (10 с. ш.)	4.09	-3.39	1.17

Результаты этих сравнений не отражают полной картины достоверности модельного поля во всем Мировом океане, но они позволяют районировать модельные данные по морфологии дна и показывают зависимость величины модельных погрешностей от градиента самого поля. Еще одним важным результатом исследований является практическое подтверждение локализации максимальных погрешностей модели (> 6 мГал) в наиболее градиентных участках поля (> 0.003 мГал/м). Результат такого сравнения на Срединно-океаническом хребте показан на рис. 1.

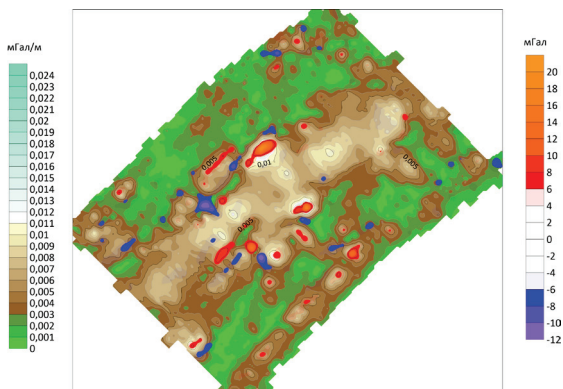


Рис. 1. Картограмма градиента поля и максимальных погрешностей модели SSv29 над COX.

Сравнение самих градиентов измеренного и модельного полей также показало, что, несмотря на значительные отклонения в аномалиях, величины градиентов отличаются незначительно. Например, для полигона, показанного на рис.1, среднеквадратическое отклонение градиентов составило 0.0008 мГал/м при максимальном значении до 0.011 мГал/м. Следовательно, вычисление второй производной модельного поля может быть инструментом априорного районирования самой модели в Мировом океане. Поэтому одной из задач инструментальных измерений в настоящее время является проверка моделей в заранее определенных областях. Актуальными также являются и высокоширотные съемки.

При этом перспективным является использование самих моделей в комплексе с некоторым набором прямых измерений. Для любых прикладных задач требуется построение достоверной комбинированной модели поля на определенную площадь. Вопрос совместной обработки разноточных и разнообъемных данных предполагает создание и апробацию соответствующего математического аппарата. В ИФЗ РАН разработан и продолжает совершенствоваться модифицированный метод S-аппроксимаций потенциальных полей и рельефа [2]. В рамках данного метода предполагается использовать модельные данные в качестве исходных при аппроксимации и интерпретации инструментального профиля с определением скрытых источников аномалий. Такой подход позволит увеличить информативность профильных данных за счет их продолжения вдоль траекторий векторного поля и в дальнейшем объединить с модельными значениями

для построения наиболее подходящего под практические задачи комбинированного решения.

Финансирование

Исследование выполнено по госзаданию Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН №0144-2019-0017, а также при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научных проектов № 20-05-00524 и № 19-35-51014.

ЛИТЕРАТУРА

1. Andersen, O. B. Marine Gravity and Geoid from Satellite Altimetry. Geoid Determination – Theory and Methods. – Springer, 2013. pp. 401 - 451 - (Lecture Notes in Earth Science, Vol. 110).
2. Степанова, И.Э. Структурно-параметрический подход при построении цифровых моделей рельефа и гравитационного поля Земли с использованием аналитических S-аппроксимаций / А.В. Щепетиллов, В.В. Погорелов, П.С. Михайлов // Геофизические процессы и биосфера. – 2020. - №2. – с. 107-116

УДК 551.46

ОПЫТ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ МОРСКОГО ЛЬДА С ПОМОЩЬЮ ГЕОРАДАРА ЛОЗА

Морозов П.А.¹, Писарев С.В.²

¹ *Институт Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН,
Калужское шоссе, д. 4, 108840, Россия, г. Москва, г. Троицк,
+7 910 400-50-82, pmoroz5@yandex.ru*

² *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)129-20-36,
pisarev@ocean.ru*

EXPERIENCE IN MEASURING THE THICKNESS OF SEA ICE WITH VINE GEORADAR

Morozov P.A. ¹, Pisarev S.V. ²

¹*Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation N.V. Pushkov RAS, Kaluzhskoe highway, 4, 108840, Russia, Moscow, Troitsk*

²*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36, Nakhimovskii prospekt, Moscow, 117997*

В отчете представлен опыт использования георадара «Лоза» для измерения толщины морского льда на восточном шельфе о. Сахалин во время зимних экспедиций в 2016 и 2019 годах. С помощью «Лозы» можно быстро определить толщину и объем ледяных объектов, представляющих опасность для объектов морской инфраструктуры.

The report presents the experience of using the georadar Loza for measuring the thickness of sea ice on the eastern shelf of Sakhalin Island during winter expeditions in 2016 and 2019. Using the Loza, one can quickly determine the thickness and volume of ice features that are hazardous for marine infrastructure facilities.

В докладе представляется опыт применения георадара Лоза В для измерения толщины морского льда на восточном шельфе острова Сахалин в зимних экспедициях 2016 и 2019 годов. Показано, что при соблюдении специально разработанной методики измерений, с помощью георадара Лоза можно оперативно определять толщины и объемы опасных для объектов морской инфраструктуры ледяных образований (ЛО) – обширных - больших ледяных полей, гряд торосов, наслоенного льда, навалов на берег.

Толщину льда измеряют в интересах как фундаментальных, так и прикладных исследований. Несколько десятилетий толщину ледового покрова *in situ* с поверхности льда определяли только бурением, а к 1970-ым годам начались интенсивные поиски методов измерений, которые бы позволили определять толщину льда быстрее и с большим пространственным разрешением по сравнению с бурением в дискретных точках [1].

Новые методы основывались на применении радиолокаторов (георадаров) с разными полосами излучаемых и принимаемых частот. При этом было обнаружено принципиальное отличие пресных и

морских льдов с точки зрения применения радиолокации. Несмотря на существование множества форм пресных льдов алгоритмы определения их толщины были найдены в течении десятилетия [1]. Современным воплощением тех работ является, например, георадар ПИКОР-Лед, серийно производимый компанией "ФПК ЭСТРА" с 2012 г. Прибор успешно используется по всей России на пресноводных акваториях, однако первое же его применение одним из авторов доклада на морских льдах при высадке дрейфующей станции СП-40 в 2012 году, показало, что прибор даже не только не показывает реалистичные значения, но и даже не воспроизводит свои измерения при многократных проходах вдоль одной и той же 50-и метровой линии на морском льду.

Исследование толщины и структуры морского льда радиолокационным способом представляет серьезную проблему. Косвенным подтверждением этого служит тот факт, что до сих пор в мире существует только один серийно выпускаемый канадской компанией Geonics измеритель толщины морского льда EM31 Ice, который, на сегодня, используют все передовые ледоисследовательские группы всех стран [2]. Морской лед состоит из кристаллов пресного льда и ячеек с рассолом, вытянутых в вертикальном направлении. Большинство физических свойств морского льда связано с содержанием рассола, изменяющимся с возрастом льда. Соленость рассолов зависит от солености воды и скорости ледообразования. Последняя определяется температурой воздуха, толщиной льда и высотой снежного покрова. С течением времени, при процессах дальнейшего замораживания или таяния, химический состав рассолов и их объем меняется. В среднем солёность льда в 4 раза ниже солёности образовавшей его воды. Соленость морского льда обуславливает его значительную проводимость, которая, в свою очередь, вызывает большое затухание электромагнитного сигнала георадара на частотах в несколько сот МГц. Георадары с импульсной мощностью 50-100 Вт, которые успешно применяются для зондирования льда пресноводных водоемов, не применимы для зондирования морских льдов именно из-за большого затухания сигнала.

Георадар Лоза В оснащен передатчиком с импульсной мощностью 1 МВт. Это, в среднем, в 10 000 раз больше, чем у «традиционных» георадаров. В 2013 году, когда Лоза В впервые применялся для измерений на морских арктических льдах в приполюсном районе, предполагалось, что большой энергетический потенциал георадара позволит успешно решить задачу площадных измерений толщины льда [3].

Лоза-В – это среднечастотный георадар, полоса частот приемника

50-300 МГц. Передатчик георадара коммутирует на антенну импульс напряжением 5-10 кВ. В комплекте георадара используются антенны 100 МГц (длина 1,5 метра) и 200 МГц (длина 1 метр). Передатчик и блок управления георадара работают от герметичных свинцовых аккумуляторов, которые обладают минимальной потерей емкости при низких отрицательных температурах.



Рис. 1. Процесс измерений толщины морского льда георадаром Лоза В (слева) и пример нижней поверхности наслоенного льда (справа).

При измерениях георадаром на морском льду учитывался ряд отличий от традиционного для Лоза-В зондирования грунта:

1. Поскольку диэлектрическая проницаемость морского льда равна 5-6, а воздуха 1, то формируется диаграмма направленности зондирующего луча в нижнюю полусферу. Угол конуса диаграммы, рассчитанный по известной формуле, составляет 26° , а диаметр интегральной зоны отражения при толщине льда, например, 5-6 м, составляет 1,5 – 2 м. При обследовании гряды торосов, результаты зондирования имеют из-за этого сглаженный, осредненный по площади зоны отражения, вид.

2. Подводная граница торосистого или наслоенного льда имеет сложную форму. Сигнал радара сильно рассеивается при отражении от такой поверхности, амплитуда сигнала уменьшается. Оценка толщины и выделение нижней границы ЛО в таких условиях осложняется.

3. По оценкам [4], в нижнюю полусферу (лед) излучается в n^2 раз больше, чем вверх (в воздух), (где n - показатель преломления). В случае зондирования с поверхности ЛО, в отличие от условий влажного

грунта, полезный зондирующий сигнал уменьшается, а доля сигнала излучаемая «в воздух» заметно увеличивается. Это приводит к тому, что глубина зондирования уменьшается, а «воздушная» помеха отражения при выходах на лед с борта ледокола, увеличивается вблизи борта. Территория вокруг судна, на расстояние равное трем толщинам исследуемого льда, оказывается недоступной для обследования георадаром.

В зимних экспедициях 2016 и 2019 годов на восточном шельфе острова Сахалин георадар Лоза В применялся для измерений толщин льда вдоль сеток топографически размеченных на ЛО профилей, расположенных в 2.5 - 5 м друг от друга и имеющих длину 50 – 400 м. Измерения георадаром сопровождалось поверочным бурением механическим способом. Всего было обследовано 45 ЛО, состоящих из однолетнего льда – обширных - больших ледяных полей спокойного термического нарастания, гряд торосов, наслоенного льда, навалов на берег. Именно такие ЛО представляют наибольшую опасность для объектов морской инфраструктуры региона.

Анализ материалов экспедиционных исследований выполнен при финансовой поддержке темы государственного задания ИОРАН № 0128-2021-0002.

ЛИТЕРАТУРА

1. Финкельштейн М. И., Лазарев Э. И., Чижов А. Н. Радиолокационные аэроледомерные съёмки рек, озер, водохранилищ. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. 112 с.
2. Eicken H., W. B. Tucker III, D. K. Perovich. Indirect measurements of the mass balance of summer Arctic sea ice with an electromagnetic induction technique. // *Annals of Glaciology*, vol. 33,2001, pp. 194-200
3. Смоляницкий В.М., С.В.Писарев Научные работы Росгидромета на ледовой базе «Барнео» в апреле 2013 года. Российские полярные исследования. ISSN 2218-5321. №2 (12), 2013, с.10-15.
4. Berkut A.I., D.E. Edemsky, V.V. Kopeikin, P.A. Morozov, I.V. Prokopovich, A.V. Popov, Deep penetration subsurface radar: hardware, results, interpretation. /Proc. 9th Int. Symp. on Advanced Ground Penetrat. Radar (IWAGPR), PS-2, 3 25, Edinburgh, UK, 2017. DOI: 10.1109/IWAGPR.2017.7996052.

**НОВЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ
ЛЕДЯНОГО ОБРАЗОВАНИЯ.**

Писарев С.В.¹, Вергун А.П.²

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36,
117997, г. Москва, 8(499)129-20-36, pisarev@ocean.ru*

² *Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
Ленинские горы, ГСП-1, 119991, г. Москва, 8(495)-939-22-38,
Alvergun@mail.ru*

**NEW APPROACH TO CREATION OF A THREE-DIMENSIONAL
MODEL OF ICE FORMATION.**

PISAREV S.V.¹, VERGUN A.P.²

² *Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospekt, Moscow, 117997*

² *Faculty of Geography, Moscow state University M.V. Lomonosov Leninskie
Gory, gsp-1.119991, Moscow.*

The report presents a new method for constructing a three-dimensional model of an ice formation (IF) using the Loza B georadar, an unmanned aerial vehicle (UAV) and photogrammetry in measurements. The method is especially effective when studying unstable IF with horizontal dimensions of 50 - 300 m.

В докладе представляется новый способ построения трехмерной модели ледяного образования (ЛО) с использованием при измерениях георадара Лоза В, беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и фотограмметрии. Способ особенно эффективен при исследовании не стабильных ЛО с горизонтальными размерами 50 – 300 м.

Проектирование сооружений на шельфе ледовитых морей требует решения проблемы учета ледовых нагрузок на конструкцию. Для расчета ледовых нагрузок необходима информация, в том числе, о морфометрических характеристиках (геометрические размеры, форма

рельефа верхней и нижней частей и др.) ледяных образований (ЛО). Под последним понимается элемент ледяного покрова, характеризующийся набором тех или иных отличительных признаков (например, ледяное поле, гряда торосов, нагромождение льда, айсберг и др.).[1].

Самый распространенный из современных способов определения рельефа и размеров верхней и нижней части ЛО - это определение тахеометром координат и высоты точек на ЛО с шагом 5 м (в отдельных случаях 2.5 м) с последующим механическим бурением льда в этих точках для измерения его толщины. Координаты определяются в локальной системе координат, связанной с конкретным ЛО. Рельеф поверхностей ЛО определяется относительно уровня воды в лунке, пробуренной в нулевой точке локальной системы. Замена механического бурения более технически сложным, но более быстрым и информативным, термобурением, на практике не позволяет измерить трехмерные размеры ЛО с пространственным разрешением лучшим чем 2.5 – 5 м. Более подробно рельеф поверхности ЛО удастся определить с помощью лазерных сканеров, а подводный рельеф – с помощью комплексов на базе гидролокаторов бокового обзора [2,3]. Измерения сканером и гидролокатором требуют нескольких часов непрерывной работы, а демобилизация этих устройств с ЛО должна осуществляться с аккуратностью и не может быть выполнена быстрее чем за 15-20 минут.

При выполнении зимних ледоисследовательских экспедиционных работ на восточном шельфе острова Сахалин в 2016 году оказалось, что 80% наибольших по объему ЛО на этой акватории представляли собой торосистый или наслоенный однолетний лед с горизонтальными размерами 50 – 300 м. Высадка с ледокольного судна на такие ЛО для выполнения комплекса измерений всегда сопровождалась риском быстрого раскола ЛО за счет разницы в векторах дрейфа ледокольного судна (ЛС) и льда [3]. Для того, чтобы с одной стороны, обеспечить построение трехмерных моделей ЛО с максимальной подробностью, а с другой, иметь возможность, в случае необходимости, быстро эвакуировать оборудование, в 2019 году, при исследовании ЛО восточного Сахалинского шельфа, был реализован новый подход.

Выполнялись следующие операции: (1) разметка с помощью геодезической рулетки и тахеометра поверхности ЛО с шагом 5 м; (2) измерение толщины льда вдоль размеченных трасс с помощью георадара Лоза В с разрешением вдоль одного направления 1 м и вдоль другого 2.5 м; (3) поверочные бурения ЛО шнековым буром с приводом от аккумуляторов в узлах разметки с шагом 5 м; (4) определение с помощью тахеометра координат 2-3 -х опорных знаков для операций

фотограмметрии ; (5) облет ЛО с помощью БПЛА в течении 10 – 15 мин в ручном режиме управления на высоте 80 – 100 м с частотой фотографирования 30 кадров в минуту, с перекрытием снимков 60-80 %, в надир, для получения серии фотографических снимков; (6) построение цифровой модели рельефа (ЦМР) поверхности ЛО по фотоснимкам с шагом 20 см с использованием программного обеспечения Agisoft PHOTOSCAN; (7) обработка измерений георадара с использованием результатов поверочного бурения, получение матрицы толщин ЛО; (8) интерполирование матрицы ЦМР в узлы матрицы толщин льда, вычитание высоты по ЦМР из толщины по георадару; (9) построение трехмерной модели ЛО.

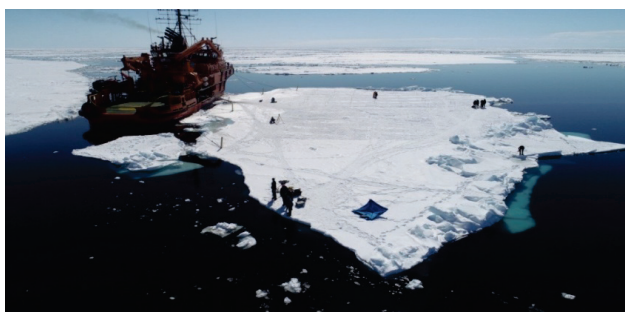


Рис. 1. Процесс измерений на одном из ЛО наслоенного однолетнего льда.

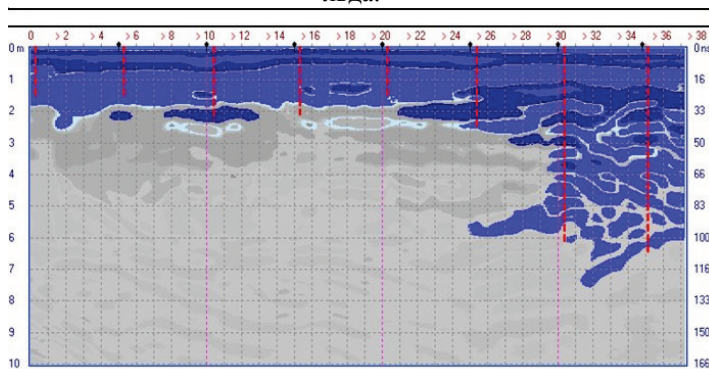


Рис. 2. Пример измерений толщины и структуры льда георадаром Лоза В вдоль одной из размеченных на ЛО трасс. Вертикальные пунктирные линии – толщина льда по результатам контрольных бурений.

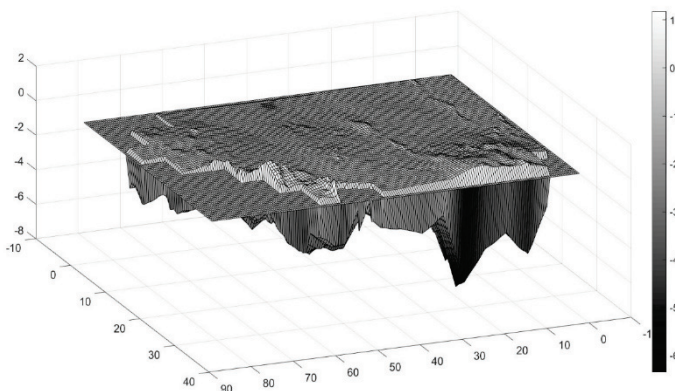


Рис. 3. Трехмерная модель ЛО, показанного на рис. 1, под одним из множества возможных углов зрения.

При реализации описанного подхода к построению 3-х мерной модели ЛО каждый специалист, выполняющий измерения на не стабильном ЛО имел при себе не более 5 - 10-и кг измерительного оборудования, которое он мог демонтировать за 1-3 мин и вместе с которым имел возможность быстро эвакуироваться на борт ЛС.

Анализ материалов экспедиционных исследований выполнен при финансовой поддержке темы государственного задания ИОРАН № 0128-2021-0002.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 58283-2018. Национальный стандарт РФ. Нефтяная и газовая промышленность Арктические операции. Учет ледовых нагрузок при проектировании морских платформ. Дата введения 2019-04-01.
2. Миронов Е.У., Гудошников Ю.П., Смирнов В.Н. Современные методы ледовых исследований и изысканий на шельфе арктических морей. // Проблемы Арктики и Антарктики, 2015. № 1, (103). С. 57–68
3. Писарев С.В. Зимние экспедиционные исследования на акватории ЮжноКириного месторождения в 2016 году// Российские полярные исследования, 2016, № 3(25), С.8-11.

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ УТОЧНЕНИЯ АЛЬТИМЕТРИЧЕСКИХ
ДАННЫХ, ПОЛУЧАЕМЫХ С ИСЗ В ЧЕРНОМОРСКОМ
РЕГИОНЕ.**

Руссак Ю.С.

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

**SOME ASPECTS OF THE REFINEMENT OF ALTIMETRY DATA
OBTAINED FROM SATELLITES IN THE BLACK SEA REGION.**

Russak Y.S.

*Shirshov Institute of Oceanology RAS. Nakhimovsky pr., 36,
117997, Moscow.*

Рассматриваются проблемы корректировки измерения уровня моря с использованием глобальных навигационных спутниковых систем при комплексировании геолого-геофизических, геоморфологических и геоакустических исследований. Рассматривается выбор метода решения измерительной задачи

The problems of adjusting the sea level measurement using global navigation satellite systems when integrating geological-geophysical, geomorphological and geoacoustic studies are considered. The choice of a method for solving a measuring problem is considered - the use of satellite navigation technologies.

При проведении комплексных геофизических и геоморфологических исследований на шельфе Крыма для комплексирования получаемой информации возникает необходимость уточнения альтиметрических данных получаемых от ИСЗ. Измерение уровня моря с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС и GPS или высокоточных спутниковых радиовысотомеров (ВРВ) требует корректировки для определения спектра погрешности радиовысотомерной информации. В частности, для определения высот квазистационарной морской топографической поверхности (МТП) и аномалий высоты уровня при

наличии морского волнения с высотой волны до метра (что соответствует волнению до 3 баллов) над общеземным эллипсоидом (ПЗ-90.02).

Современная спутниковая навигационная аппаратура потребителей в автономном режиме приема и обработки сигналов СНС традиционным методом пространственной линейной засечки (прямая геодезическая засечка) положения антенны приемника относительно спутников, в среднем, имеет типовую погрешность навигационных определений порядка 8-10 м (СКО). При этом бюджет ошибок определения места потребителя состоит из нескольких групп, это:

- аппаратурные измерительные ошибки;

- ошибки, обусловленные условиями приема сигналов: условия видимости НИСЗ, влияние тропосферы, ионосферы, переотраженных сигналов (т.н. многолучевости), динамические ошибки;

- системные ошибки (влияние погрешностей частотно-временного и эфемероидного обеспечения СНС).

Ошибки первых двух групп во многом зависят от внутренних технических и алгоритмических решений каждого конкретного типа навигационной аппаратуры, и при правильном подходе (теоретически) могут быть сведены к дециметровому, и даже сантиметровому уровню.

Ошибки третьей группы (системные) не устраняются никакими методами обработки сигналов, поэтому точность навигационных определений в автономном режиме (одним навигационным приемником) всегда, независимо от типа используемой аппаратуры, имеет некоторый нижний предел (порядка 3-4 метров).

Отсутствие в открытом море при волнении неподвижных точек отсчета однозначно определяет выбор метода решения измерительной задачи – использование спутниковых навигационных технологий, в частности проведение дифференциальных фазовых измерений.

Проведение дифференциальных фазовых измерений в кинематическом режиме с разрешением фазовых неоднозначностей одночастотными приемниками при интервале обновления информации 1 с, обеспечивают одномоментное определение единичных разностей вертикальных координат двух антенн со среднеквадратическими погрешностями (СКП) не более 0,1 м.

С этой целью в ИО РАН используется пространственно-распределенная система состоящая из морской буйковой станции (МБС), берегового спутникового навигационно-измерительного модуля (СНИМ) и сервера СУБД, который формирует базы данных по результатам измерений берегового СНИМ и МБС и рассчитывает высоты антенн МБС в системе координат ПЗ-90.02.

«Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (темы №0128-2021-0010) при поддержке РФФИ (проекты № 20-05-00384 «А» и №18-05-60070 «Арктика»)

ЛИТЕРАТУРА

1. Interface Control Document Global Positioning System (ICD-GPS-200 C). Wash., 1997. –160 p.
2. Римский – Корсаков Н.А., Руссак Ю.С., Дорошенко С.Ю. Комплекс аппаратно-программных средств мониторинга морской поверхности. // Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2015». Том II. – М., 2015,с

УДК 528.8

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДИНАМИКИ И ЗАПОЛНЕНИЕ ПРОПУСКОВ В ПОЛЯХ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСКОЙ ВОДЫ, ИЗМЕРЯЕМЫХ СПУТНИКОВЫМИ СКАНЕРАМИ

Ермаков Д.М.^{1,2}, Маклаков С.М.¹, Савченко Е.В.¹, Чернушич А.П.¹

¹ *Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
пл. Введенского, 1, 141120, г. Фрязино, Московская область,
8(496)565-24-00, dima@ire.rssi.ru*

² *Институт космических исследований РАН, ул. Профсоюзная 84/32,
117997, г. Москва, 8(495)333-52-12, pldime@gmail.com*

RECOVERY OF DYNAMICS AND FILLING GAP IN THE FIELDS OF SEA WATER CHARACTERISTICS MEASURED BY SATELLITE SCANNERS

Ermakov D.M.^{1,2}, Maklakov S.M.¹, Savchenko E.V.¹, Chernushich A.P.¹

¹ *Fryazino Branch of the V.I. V.A. Kotelnikov RAS, pl. Vvedensky, 1, 141120,
Fryazino, Moscow region*

² *Space Research Institute, Russian Academy of Sciences,
st. Profsoyuznaya 84/32, 117997, Moscow*

В докладе обсуждена возможность автоматического восстановления динамики и заполнения пропусков в полях биогеохимических и физических полей параметров морской воды, дистанционно измеряемых спутниковыми сканерами видимого и ИК диапазонов спектра.

Paper presents an approach to estimation of dynamics and filling-in the gaps in the fields of various parameters of sea water retrieved from space. The approach is based on the previously developed algorithms of satellite radiothermovision and is tested on the cases of repeated observations of the Black sea in cloudless conditions with satellite-borne ocean color scanners.

К важнейшим дистанционно измеряемым параметрам толщи и поверхности морской воды относятся концентрация хлорофилла, растворенной органики, минеральных взвесей различного происхождения, температура и др. [1,2].

Алгоритмы восстановления этих параметров по дистанционным данным крайне чувствительны к оптическим свойствам атмосферы [3,4] и, в частности, не работают в облачных условиях. Это приводит к образованию пропусков в продуктах обработки и затрудняет анализ пространственной структуры и динамики наблюдаемых полей. Традиционным и самым простым подходом к преодолению этой проблемы является накопление информации за несколько последовательных дней наблюдений. В результате удается построить не содержащие пропусков поля усредненных характеристик – декадных, месячных, сезонных [5] и т.д.

Однако такой подход не достаточен для наблюдения мелкомасштабной динамики полей и/или для совместного анализа максимально синхронных данных независимых наблюдений (в том числе, комплексного анализа с данными СВЧ радиометрических и других измерений). В связи с этим принимаются значительные усилия по моделированию краткосрочной эволюции полей, указанных выше параметров и заполнению пропусков в данных [6,7].

В настоящей работе предпринята попытка подобного моделирования в упрощенной кинематической постановке, основывающейся на адаптации ранее разработанных алгоритмов спутникового радиотепловидения атмосферных процессов [8], которые, в свою очередь, опираются на модифицированные алгоритмы анализа оптического потока.

Формальным основанием опробованного в работе подхода стало подобие относительных пространственно-временных масштабов обоих

типов данных. Действительно, алгоритмы спутникового радиотепловидения показали высокую эффективность при анализе атмосферных процессов на сетке с пространственным шагом порядка 25 км и регулярностью наблюдений около полусуток. При этом эффективные скорости адвекции (горизонтального движения) в элементах разрешения достигают 5 – 10 м/с и более. Характерное пространственная дискретизация данных спутниковых оптических сканеров цвета океана составляет порядка 1 км, а периодичность обзора – сутки. При этом, однако, характерная скорость горизонтальных движений на порядки меньше, чем в атмосфере, а периодичность наблюдений составляет сутки. Поэтому характерные дистанции смещения элементов разрешения относительно их собственных масштабов в обоих случаях можно считать примерно одинаковыми и применять к их оценке общие алгоритмические подходы.

Закономерности эволюции полей влажности атмосферных параметров, восстанавливаемых СВЧ радиометрическими методами, и биогеохимических полей океанических вод, восстанавливаемых по данным спутниковых сканеров цвета, также имеют формальное математическое сходство. Они, в основном, определяются адвекцией (горизонтальными смещениями), на фоне которой действуют дополнительные факторы, играющие роль источников и стоков вещества-трассера (фазовые переходы влаги в одном случае, размножение и деградация фитопланктона – в другом).

В работе была принята следующая методика апробации алгоритмов восстановления динамики полей морской воды. Выбирали три последовательных безоблачных дня наблюдений. Крайние дни рассматривали в качестве граничных условий задачи и с помощью алгоритмов спутникового радиотепловидения в линейном приближении рассчитывали состояние соответствующего поля в промежуточный день, считая его равноудаленным по времени от двух крайних. Результаты пространственно-временной интерполяции сопоставляли с продуктом стандартной обработки, вычисляя статистику невязок попиксельно. С этой целью предварительно проводили интерполяцию данных на регулярные (прямоугольные) координатные сетки с различным пространственным шагом для учета эффектов переменного разрешения сканера вдоль линии сканирования.

В докладе обсуждаются первые результаты реализации предложенного подхода и пути его дальнейшего совершенствования. В частности, предложенный ранее алгоритм шивки лакун [8] может быть применен для гладкой интерполяции данных в области разрывной облачности и задействован в качестве подготовительного шага к

пространственно-временной интерполяции изображений, содержащих небольшой процент облаков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костяной, А. Г. Спутниковый мониторинг климатических параметров океана. Часть 1 / А. Г. Костяной // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2017. №2. С. 63-85.
2. Костяной, А. Г. Спутниковый мониторинг климатических параметров океана. Часть 2 / А. Г. Костяной // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2017. №3. С. 57-83.
3. Копелевич, О. В. Разработка региональных алгоритмов атмосферной коррекции данных спутниковых сканеров цвета / О. В. Копелевич, В. И. Буренков, С. В. Шеберстов, О. В. Прохоренко // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2009. Т. 6. № 1. С. 400-408.
4. Буканова, Т. В. Региональные алгоритмы оценки концентрации хлорофилла и взвеси в юго-восточной Балтике по данным спутниковых сканеров цвета / Т. В. Буканова, С. В. Вазюля, О. В. Копелевич, В. И. Буренков, А. В. Григорьев, А. Н. Храпко, С. В. Шеберстов, С. В. Александров // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса*. 2011. Т. 8. № 2. С. 64-73.
5. Копелевич, О. В. Оценка по спутниковым данным межгодовых и сезонных изменений температуры поверхности Атлантического океана и концентрации хлорофилла в поверхностном слое в период 1998-2008 гг. / О. В. Копелевич, С. В. Шеберстов // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2010. Т. 7. № 1. С. 238-247.
6. Gonçalves-Araujo R. Using fluorescent dissolved organic matter to trace and distinguish the origin of Arctic surface waters / R. Gonçalves-Araujo, M. A. Granskog, A. Bracher, K. Azetsu-Scott, P. A. Dodd, C. A. Stedmon // *Scientific reports*. 2016. V. 6. P. 33978.
7. Konik, M. The operational method of filling information gaps in satellite imagery using numerical models / M. Konik, M. Kowalevski, K. Bradtke, M. Darecki // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2019. V. 75. P. 66-82.
8. Ermakov, D. M. Satellite radiothermovision of atmospheric processes: Method and applications / D. M. Ermakov - Switzerland : Springer International Publishing, 2021. – 199 + XXVII p.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АВТОНОМНЫЙ КОМПЛЕКС
ОТБОРА ПРОБ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ПРИРОДНЫХ ВОД**

**Хлебников Д.В., Газенко А.О.,
Илларионов С.В., Коновалов Б.В.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-73-92,
dx@ocean.ru*

**EXPERIMENTAL SELF-CONTAINED COMPLEX FOR
SAMPLING NEAR-SURFACE NATURAL WATERS**

**Khlebnikov D.V., Gazenko A.O.,
Illarionov S.N., Konovalov B.V.**

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospekt, Moscow, 117997*

В статье представлен проект экспериментального автономного комплекса взятия водных проб с поверхности в прибрежной зоне озер и морей. Комплекс располагается на движущейся по заданному маршруту надводной плавающей платформе и позволяет отбирать пробы воды в заданных точках.

The article presents a project of an experimental autonomous complex for taking water samples from the surface in the coastal zone of lakes and seas. The complex is located on a surface floating platform moving along a given route and allows taking water samples at given points.

Представлен проект экспериментального автономного комплекса отбора проб из приповерхностного слоя природных вод в океанах, морях, озерах, водохранилищах и реках. Комплекс располагается на движущейся по заданному маршруту надводной плавающей платформе и состоит из пяти модулей.

1. Устройство непосредственного отбора природной воды располагается в носовой части автономной движущейся платформы в невозмущенной водной зоне и позволяет регулировать: а) глубину погружения приемной щели, б) широту приемной щели, в) высоту

приемной шели.

2. Всасывающий проточный насос.

3. Система распределительных трубок и электромеханических клапанов.

4. Емкости для хранения проб.

5. Контроллер управления комплексом отбора проб с GPS/ГЛОНАСС модулем.

Использование предложенного экспериментального автономного комплекса отбора проб позволит без использования дорогостоящих научно-исследовательских судов брать пробы вод в требуемых точках исследуемых районов прибрежной зоны озер и морей для последующего лабораторного анализа их гидрохимических и биофизических характеристик.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0128-2021-0001) а также при поддержке РФФИ (проект № 18-05-80049)

УДК 634.67

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СУДОВОЙ НОСОВОЙ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ И БИООПТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В
ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ПРИРОДНЫХ ВОД**

**Хлебников Д.В., Анисимов М.В., Газенко А.О.,
Илларионов С.Н., Коновалов Б.В.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-73-92, dx@ocean.ru*

**EXPERIMENTAL SHIP'S BOW MEASURING COMPLEX FOR THE
STUDY OF HYDROPHYSICAL AND BIOOPTIC FIELDS IN THE
NEAR-SURFACE LAYER OF NATURAL WATERS**

**Khlebnikov D.V., Anisimov M.V., Gazenko A.O.,
Illarionov S.N., Konovalov B.V.**

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospekt, Moscow, 117997*

Представлен проект экспериментального судового фронтального океанографического измерительного комплекса для исследования гидрофизических и биооптических полей в приповерхностном слое природных вод в океанах, морях, озерах, водохранилищах и реках. Особенностью комплекса является измерение в невозмущенной зоне перед движущимся судном.

Presented the project of the research pilot ship frontal oceanographic measuring complex for the study of hydrophysical and biooptic fields in the near surface layer of natural waters in oceans, seas, lakes, reservoirs and rivers. The peculiarity of the complex is the measurement in the undisturbed area in front of the moving vessel.

Представлен проект исследовательского экспериментального судового фронтального океанографического измерительного комплекса для исследования гидрофизических и биооптических полей в приповерхностном слое природных вод в океанах, морях, озерах, водохранилищах и реках. Комплекс состоит из двух частей: электромеханической ныряющей платформы с набором преобразователей, получающих экспериментальные данные о 3-D биофизических полях приповерхностного слоя природных вод и размещенного на научно-исследовательском судне (НИС) центра управления и обработки информации. Главной отличительной особенностью комплекса является измерение параметров приповерхностного слоя на ходу НИС в невозмущенной зоне впереди судна.

Ныряющая платформа с размещенными на ней измерительными преобразователями представляет собой конструкцию с низким гидродинамическим сопротивлением, вертикальные и горизонтальные перемещения (x и y) которого относительно оси движения судна (z) управляются размещенными на ней электромеханическими крыльями и соединенную с носом НИС стержнем с двумя шаровыми шарнирами. Основным движителем для платформы является корпус судна, энергоснабжение комплекса обеспечивается с борта НИС.

В набор преобразователей, размещенных на исследовательской платформе и предназначенных для исследования биофизических полей приповерхностного слоя природных вод, могут, в зависимости от поставленной задачи входить следующие датчики: давления, температуры, электропроводности, концентрации растворенного кислорода, спектров прозрачности и подводной облученности, концентрации фитопланктона, ФАР и другие.

Использование предложенного экспериментального судового фронтального океанографического измерительного комплекса позволит во время движения НИС получать 3-D распределение основных гидрофизических, гидрохимических, гидрооптических и гидробиологических полей приповерхностного слоя природных вод в исследуемых районах.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0128-2021-0001) а также при поддержке РФФИ (проект № 18-05-80049)

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Способ определения и построения пространственного распределения океанографических характеристик и система для его реализации // Патент России № 2156958. 2000./ Матюшенко В.А., Пелевин В.Н., Аржанников А.В., Хлебников Д.В., Коновалов Б.В.
2. Федоров, К. Н. Приповерхностный слой океана / К. Н. Федоров, А. И. Гинзбург. - Л. : Гидрометеиздат, 1988. - 303 с.
3. Soloviev, A. The Near-Surface Layer of the Ocean: Structure, Dynamics and Application, 2-nd ed / Soloviev A., Lukas R.- Springer, 2014.- 552 pp.

УДК 634.67

СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ТРАССИРОВАНИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МОРЯ

**Хлебников Д.В., Анисимов М.В., Газенко А.О.,
Илларионов С.В., Коновалов Б.В.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-73-92, dxocean.ru*

SYSTEM FOR INTEGRATED AUTOMATIC ROUTING OF SEA SURFACE LAYER

**Khlebnikov D.V., Anisimov M.V., Gazenko A.O.,
Illarionov S.N., Konovalov B.V.**

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

В докладе представлен проект морского автономного глайдера - системы комплексного автоматического трассирования приповерхностного слоя моря, предназначенного для проведения исследований гидрофизических и биофизических полей приповерхностного водного слоя в береговой зоне морей и озер.

The report presents a project of a marine autonomous glider - a system of integrated automatic routing of the near-surface layer of the sea, designed to conduct studies of hydrophysical and biophysical fields of the near-surface water layer in the coastal zone of seas and lakes.

Предложен проект морского автономного глайдера СКАТ ПСМ (системы комплексного автоматического трассирования приповерхностного слоя моря). Основное предназначение глайдера – проведение исследований гидрофизических и биофизических полей приповерхностного водного слоя в береговой зоне морей и озер, особенно в случаях, когда использование для этих целей НИС невозможно или нецелесообразно.

По конструкции глайдер представляет собой тримаран 3x2 м, состоящий из отдельных модулей. Несущие поплавки – пластиковые или надувные (3 x 0,5 м). Сверху к поплавкам прикреплена рама из дюралюминиевых труб. Модуль каждого из двух рулевых устройств включает аккумулятор, движитель-электродвигатель постоянного тока, винт и руль. Управление глайдером осуществляется бортовым центром управления по курсу и по скорости. В передней части глайдера между 1-м и 3-м поплавком и перед 2-м поплавком находится невозмущенная расходящимися от поплавков волнами зона для измерений водной поверхности как контактными, так и бесконтактными датчиками.

Комплекс контактных датчиков служит для измерения температуры, электропроводности, кислорода, оптических характеристик водной среды и других параметров. Для бесконтактных измерений предназначены измеритель коэффициента спектральной яркости моря (ро-метр), ультрафиолетовый флуоресцентный лидар, дистанционный инфракрасный измеритель температуры (пирометр) и другие преобразователи. В центральной нижней части глайдера расположен эхолот. Для забора проб водных проб с целью последующего лабораторного анализа на палубе установлена проточная система.

Управление движением глайдером осуществляется бортовым центром управления с встроенными датчиками координат

(Глонавс/GPS/Galileo) и гироскопом. Возможные варианты выдачи команд управления – через GSM-сообщения или полностью автономное движение по загруженным в центр управления координатам полигона исследования. При необходимости проведения вертикального зондирования до глубин в 50 м глайдер дополнительно оснащается модульной лебедкой с кабель-тросом и прикрепленным STD-зондом и необходимыми дополнительными подводными датчиками.

Глайдер может использоваться как в береговой зоне моря, так и с борта НИС, для проведения полигонных работ. К достоинствам глайдера относятся низкая стоимость строительства и эксплуатации, что дает ему определенные преимущества при проведении прибрежных исследований морей и озер по сравнению с использованием дорогостоящих НИС

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0128-2021-0001) а также при поддержке РФФИ (проект № 18-05-80049)

УДК 551.465

ТЕРМОХАЛИННЫЕ АНОМАЛИИ И ФРОНТЫ В ЧЕРНОМ МОРЕ, ИХ СВЯЗЬ С ТОНКОЙ СТРУКТУРОЙ ВОД

Зацепин А.Г., Подымов О.И.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-63-92,
zatsepin@ocean.ru*

THERMOHALINE ANOMALIES AND FRONTS IN THE BLACK SEA AND THEIR CONNECTION WITH VERTICAL FINE STRUCTURE

Zatsepin A.G., Podymov O.I.

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

Выделены и проанализированы термохалинные аномалии - неоднородности температуры и солености на изопикнах в верхнем 300-м слое Черного моря. Показано, что тонкая структура вод на профилях

температуры имеет преимущественно инверсионный характер в областях, где имеются изопикнические мезомасштабные неоднородности температуры.

Thermohaline anomalies - temperature and salinity inhomogeneities on isopycnals - have been identified and analyzed in the upper 300-m layer of the Black Sea. It is shown that the fine structure on the temperature profiles is characterized by inversions of gradient in areas with isopycnic mesoscale temperature inhomogeneities.

Одним из физических явлений, распространенных в океане и атмосфере, обладающих устойчивой плотностной стратификацией, является тонкоструктурное расслоение этих сред. В океане вертикальные масштабы тонкой структуры составляют от одного до нескольких десятков метров, а горизонтальные – на несколько порядков больше. Сама структура характеризуется либо наличием слоев с пониженными вертикальными градиентами температуры, солёности и плотности, разделенных высокоградиентными прослойками (ступенчатая структура), либо слоями с инверсиями температуры и солёности (инверсионная структура). При этом инверсией считается изменение знака градиента вышеуказанных параметров на противоположный, по сравнению с фоновым [1].

Тонкая структура вод океана является своеобразным почерком процессов перемешивания его стратифицированных вод, как по вертикали, так и по горизонтали [2, 3]. По этой причине она достаточно интенсивно изучалась в Мировом океане, в особенности, в 60-х–80-х годах прошлого века. В Черном море изучению тонкой структуры в прошлом уделялось мало внимания. Наиболее распространенными объектами исследования, относящимися к инверсионной тонкой структуре, являлись интрузии модифицированных вод нижнебосфорского течения в черноморском пикно-халоклине и глубже него, вплоть до глубин 500–600 м. О существовании в море интрузий и связанной с ними инверсионной тонкой структурой другого происхождения появились свидетельства лишь в последнее время, полученные на основе анализа вертикальных профилей температуры, солёности и растворенного кислорода, измеренными поплавками Арго (П. А. Стунжас, личное сообщение). Данные свидетельства косвенно подтверждаются предварительными исследованиями, выполненными авторами настоящей работы, согласно которым в верхнем 150–200-метровом слое моря существуют термохалинные фронты, наблюдающиеся как в прибрежной зоне конвергенции, так и в

центральной зоне дивергенции. Эти фронты, происхождение которых не вполне понятно, могут являться генераторами интрузий и тонкой структуры инверсионного типа [4, 5].

Основной массив обрабатываемых данных составили 44 перпендикулярных берегу гидрофизических разреза длиной 70–100 миль, выполненных STD-зондом с борта НИС «Акванавт» в 1997–2009 гг. в северо-восточной части Черного моря. По этим материалам были рассчитаны и построены в поле плотности аномалии температуры и солёности. Основная масса разрезов была выполнена на траверзе Голубой Бухты г. Геленджика.

Для расчета температурных аномалий строилась равномерная сетка, где по горизонтали был шаг в 1 морскую милю, а по вертикали – 1 м для поля глубины и 0.01 кг/м^3 для поля условной плотности. Недостоящие профили и горизонты были получены при помощи сплайновой интерполяции методом Акимы [6]. Равномерная сетка по горизонтали была нужна, чтобы нивелировать разницу расстояния между станциями на разрезе, поскольку между ближними к берегу станциями дистанция была 3–5 миль, а в конце разреза она могла достигать 10–15 миль, что дало бы очевидное искажение при расчете аномалий напрямую. Далее по построенной сетке считалось арифметическое среднее для всех значений температуры на отдельном горизонте (изобаре либо изопикне), после чего полученное среднее вычиталось из значений температуры на данном горизонте для каждого из профилей. Полученные в результате значения представляли собой температурные аномалии, т.е. отклонения температуры на отдельном горизонте (изобарическая аномалия) или, изопикне (изопикническая аномалия) от средней по разрезу. Изобарические аномалии обусловлены в основном вертикальными смещениями изопикн совместно с изотермами и изохалинами, т.е. апвеллингами и даунвеллингами, струйными и вихревыми течениями, в том числе ОЧТ. Изопикнические аномалии связаны, скорее всего, с пространственной неоднородностью процессов формирования водных масс Черного моря и диапикнического тепло-массообмена. Для расчета изопикнических аномалий в поле условной плотности был взят интервал между 14.3 и 16.6 кг/м^3 . Верхняя граница была ограничена значениями условной плотности, наблюдающимися в приповерхностном слое моря в зимние месяцы, когда она заметно возрастает и может достигать значений в 14.3 – 14.5 кг/м^3 .

Были получены следующие основные результаты.

1. Выявлены и проанализированы мезомасштабные (20–50 км) изопикнические термохалинные аномалии в верхнем 300-м слое

Черного моря. Эти аномалии и фронты, образующиеся на их границах, являются потенциальными источниками тонкой структуры вод инверсионного типа.

2. Установлено, что в диапазоне изменения условной плотности $14.5\text{--}16.5 \text{ кг/м}^3$ амплитуда температурных аномалий быстро убывает с возрастанием плотности, и ниже изопикн $16.1\text{--}16.2$ аномалии они не превышают значений $\pm 0.03 \text{ }^\circ\text{C}$. При этом вверху они достигают величин $\pm 0.7\text{--}0.9 \text{ }^\circ\text{C}$. Имеет место сезонная изменчивость амплитуды аномалий (зимой она больше, чем летом), и практически отсутствует ее изменчивость вдоль разрезов.

3. Сравнение амплитуд термических аномалий на изопикнах с амплитудами термических аномалий на изобарах, показало, что последние в 2–4 раза превосходят первые. Корреляционных связей между этими аномалиями не обнаружено. Это не означает, однако, что изобарические термические и соленостные аномалии, образованные, главным образом, благодаря смещению изопикн по вертикали, не влияют на образование термохалинных аномалий на изопикнах.

4. Показано, что тонкая структура вод на профилях температуры имеет преимущественно инверсионный характер в областях, где произведение амплитуды термической аномалии на изопикне на тангенс угла наклона изотермы к изопикне имеет по модулю достаточно большое значение (области высокой термоклинности [7]).

5. Не обнаружено свидетельств наличия изопикнических аномалий температуры и связанных с ними тонкоструктурных инверсий температуры, обусловленных распространением Босфорских вод в Черном море [8]. Наблюдавшиеся изопикнические температурные аномалии и тонкоструктурные инверсии были образованы, скорее всего, вследствие региональных физических процессов в северо-восточной части Черного моря.

Работа выполнена по теме госзадания 0128-2021-0002 и при поддержке гранта РФФИ №20-05-00496.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журбас В.М., Озмидов Р.В. (ред.). Формы тонкой термохалинной структуры океана. Каталог // Материалы океанологических исследований. Выпуск 1. М.: Межведомственный геофизический комитет при Президиуме Академии Наук СССР, 1987. 134 с.
2. Федоров К.Н. Тонкая термохалинная структура вод океана. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 184 с.
3. Федоров К.Н. Физическая природа и структура океанических

- фронтов. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 296 с.
4. Федоров К.Н. О термохалинных характеристиках фронтов в океане // ДАН СССР. 1988. Т.302. С.205-210.
 5. Зацепин А.Г., Подымов О.И. Термохалинные аномалии и фронты в Черном море, их связь с тонкой структурой вод // Океанология. 2021. №4.
 6. Akima, H. A method of bivariate interpolation and smooth surface fitting for irregularly distributed data points // ACM Transactions on Math. Software. 1978. V. 4. P. 148-159.
 7. Кузьмина Н.П. О вертикальной структуре трехмерного интрузионного расслоения океанских фронтов с существенной бароклинностью и термоклинностью // Океанология. 2001. Т. 41. № 3. С. 356-370.
 8. Falina A., Sarafanov A., Ozsoy E., Turuncoglu U. Observed basin-wide propagation of Mediterranean water in the Black Sea // J. Geoph. Res.: Oceans. 2017. Vol. 122. No 4. P. 1-13. DOI: 10.1002/2017JC012729.

II. ГЕОЛОГИЯ, ГИДРОФИЗИКА, РЕСУРСЫ

УДК 550.34

МОРСКАЯ ПРИДОННАЯ СТАНЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ

**Ковачев С.А., Крылов А.А., Иванов В.Н.,
Тимашкевич Г.К., Егоров А.В.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117997, Москва, Нахимовский пр. 36
+7 (916) 235 4029, kovachev@ocean.ru*

MARINE BOTTOM SEISMIC STATION

Kovachev S.A., Krylov A.A., Ivanov V.N., Timashkevich G.K., Egorov A.V.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences
36, Nahimovsky Prospect, Moscow, Russia, 117997*

Разработанные в ИО РАН донные сейсмографы МПССР предназначены для регистрации морских землетрясений в широком диапазоне энергий (магнитуд), а также для исследования пространственного распределения сейсмических источников и сейсмического режима акваторий.

The bottom seismographs MPSSR developed at the IO RAS are designed to register sea earthquakes in a wide range of energies (magnitudes) and to study the spatial distribution of seismic sources and the seismic regime of water areas.

В мае-сентябре 2016 г. были проведены комплексные испытания донных сейсмографов нового поколения типа МПССР, разработанных в ИО РАН. Испытания проводились в акватории Черного моря на траверзе пос. Джанхот. Донные сейсмографы МПССР предназначены для регистрации морских землетрясений внутренних и окраинных морей России в широком диапазоне энергий (магнитуд), изучения пространственного распределения сейсмических очагов и сейсмического режима акваторий по методике, описанной в следующих работах [1-5]. Донный сейсмограф МПССР предназначен для изучения сейсмической активности в различных акваториях Мирового океана, включая районы со сложными ледовыми условиями (Арктика и Антарктика) и мониторинга морских нефтегазовых месторождений [6]. Использование донных сейсмографов дает возможность определять параметры сейсмического режима, необходимые для выделения зон возможных очагов землетрясений (зоны ВОЗ) и составления сеймотектонических схем исследуемой акватории по методике, описанной в [7].

Донный сейсмограф МПССР может использоваться при глубинах моря от 0 до 5000 м. Он имеет следующие технические характеристики:

Число регистрируемых каналов – 7.

Диапазон регистрируемых частот (ДРЧ) – 0.015- 500 Гц.

Динамический диапазон регистрации – 96 дБ.

Спецификация датчиков:

Один вертикальный низкочастотный сейсмометр (ДРЧ) – 0.015-50 Гц.

Два горизонтальных низкочастотных сейсмоприемника (ДРЧ) – 0.015-50 Гц.

Один вертикальный высокочастотный сейсмоприемник (ДРЧ) – 10-200 Гц.

Два горизонтальных высокочастотных сейсмоприемника (ДРЧ) – 10-200 Гц.

Гидрофон (ДРЧ) – 0.1- 500 Гц.

Продолжительность автономной работы до 6 месяцев.

Донные сейсмографы устанавливаются на дно автономно с использованием капроновых буйрепов и притопленных буюв.

Донный сейсмограф был установлен на глубине моря 32 м в точке с координатами 44°29.77' С.Ш. и 38°3.76' В.Д. с использованием притопленного буюа и размыкателей троса. Продолжительность регистрации составила около 4 месяцев. Основная цель испытаний – определение реальной чувствительности прибора и надежность работы при продолжительных наблюдениях.

Подъем сейсмографа (рис. 1) был выполнен с помощью трала, т.к. размыкатели обросли баянусом и не сработали. Основной вывод - при длительных постановках на глубины моря менее 30 м необходима защита размыкателей от обрастания.

За период регистрации с мая по сентябрь 2016 г. донный сейсмограф записал целый ряд сильных удаленных землетрясений (пример на рис. 2); катастрофическое землетрясение в Центральной Италии, произошедшее 24 августа 2016 г. (рис. 3); региональные землетрясения с очагами в районе Восточного Кавказа (пример на рис. 4) и многочисленные локальные микроземлетрясения. Испытания показали, что донный сейсмограф МПССР имеет высокую чувствительность (магнитудный порог – минус 1). Он способен регистрировать как телесеismicические сигналы на расстояниях свыше 8000 км, так и слабые локальные землетрясения. Сейсмограф безотказно проработал 4 месяца и может использоваться для мониторинга морских нефтегазовых месторождений.

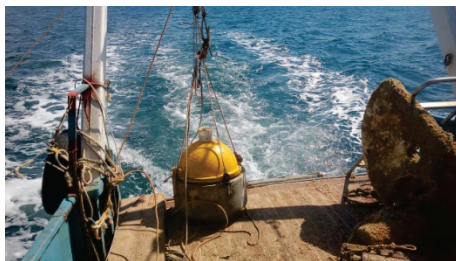


Рис. 1. Донный сейсмограф МПССР на палубе НИС «Ашамба» после подъема

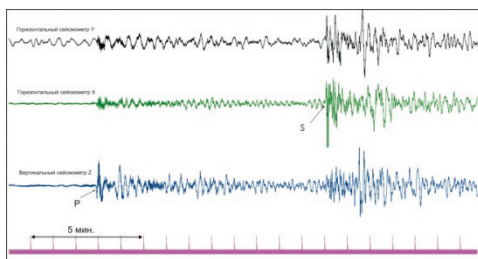


Рис. 2. Запись телесеismicического сигнала от сильного землетрясения ($M=7.7$) с эпицентром в районе Марианских островов

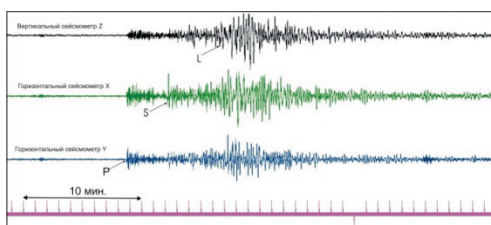


Рис. 3. Запись итальянского землетрясения 24 августа 2016 г., полученная донным сейсмографом МПССР на дне Черного моря

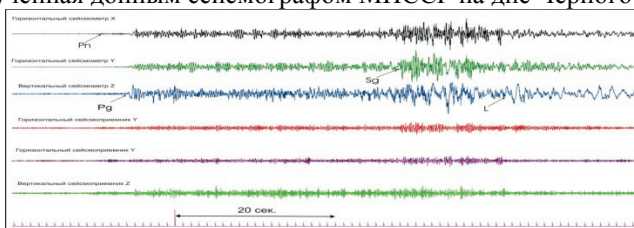


Рис. 4. Запись регионального землетрясения с эпицентром в районе Восточного Кавказа, полученная донным сейсмографом

Работа выполнена при финансовой поддержке Минпромторга РФ (в части полевых работ), Российского Фонда Фундаментальных Исследований (Грант № 20-05-00533А, анализ регистрационных возможностей МПССР), Российского научного фонда (Грант № 20-77-00034, анализ волновых форм донных сейсмических сигналов) и по Государственному заданию № 0128-2021-0004 (оформление рисунков).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковачев С.А. Результаты сейсмологических наблюдений на западе Калининградской области и на акватории Балтийского моря // Физика Земли. – 2008. – № 9. – С. 20-31.
2. Лобковский Л.И., Мерклин Л.Р., Ковачев С.А. и др. Основные направления и предварительные результаты исследований на научно-исследовательском судне "Рифт" в Каспийском море (апрель-май 2006 г.) // Океанология. – 2007. – Т. 47, № 5. – С. 795-800.
3. Kovachev S.A., Kuzin I.P., Soloviev S.L. Microseismicity of the frontal Hellenic arc according to OBS observations // Tectonophysics. – 1992. – Т. 201, № 3-4. – С. 317-327.
4. Solov'ev S.L., Kovachev S.A., Kuzin I.P., Tassos S. Seismicity of the crust of the Aegean Sea from sea bottom seismological observations // Доклады Академии наук СССР. 1989. – Т. 305, № 5. – С. 1085-1089.
5. Соловьев С.Л., Ковачев С.А., Мишарина Л.А., Уфимцев Г.Ф. Сейсмоактивность поперечных нарушений в Ольхоно-Святоносской зоне озера Байкал // Доклады Академии наук СССР. – 1989. – Т. 309, № 1. – С. 61-64.
6. Куликов Е.А., Иващенко А.И., Яковенко О.И., Ковачев С.А., Медведев И.П. К вопросу о цунамиопасности арктического региона // Арктика: экология и экономика. – 2016. – № 3 (23). – С. 38-49.
7. Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т., Камалетдинов М.А., Ковачев С.А. и др. Первая тектоносейсмическая карта Восточного Башкортостана: Монография. – Уфа : Гилем – 1995. – 44с.

УДК 550.34

СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ ПЛОЩАДКИ БЕТТА (ЧЕРНОЕ МОРЕ)

Ковачев С.А.¹, Крылов А.А.¹, Мироных С.Г.²

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01, kovachev@ocean.ru*
² *Центр анализа сейсмических данных МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, ул.
Ленинские горы, 1, стр. 77, mironyuksg@gmail.com*

SEISMIC MICROZONATION OF THE BETTA SITE (BLACK SEA)

Kovachev S.A.¹, Krylov A.A.¹, Mironyuk S.G.²

¹ *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences
36, Nahimovsky Prospect, Moscow, Russia, 117997*

В статье представлена методика расчетов, использовавшаяся для определения параметров сейсмических воздействий с учетом слоя рыхлых осадков на морском дне на примере лицензионного участка Бетта (Черное море).

The article presents the calculation methodology used to refine the parameters of seismic effects, taking into account the layer of soft sediments on the seabed using the example of the Betta license area (the Black Sea).

Сейсмическое микрорайонирование (СМР) выполняется для учета влияния грунтовой толщи на параметры сейсмических воздействий при проектировании сооружений. Одним из методов СМР является расчетный метод, который необходимо использовать при отсутствии донных сейсмографов [1,2,3].

Для численного моделирования распространения сейсмических волн в грунтовой толще использовался алгоритм компьютерной программы *NERA* (Nonlinear Earthquake Response Analysis). Моделирование сводится к численному решению конечно-разностного волнового уравнения для поперечных *SH*-волн (горизонтально поляризованная компонента *S*-волны). Поперечные волны распространяются вертикально в одномерной слоистой толще осадков, в пределах которой слои предполагаются: 1 – горизонтально однородными; 2 – бесконечно протяженными по горизонтали; 3 – испытывающими только горизонтальные смещения, передаваемые от коренного основания.

Входной сигнал задается в виде акселерограммы либо реального землетрясения, либо события, сгенерированного искусственным способом. Акселерограммы рассчитывались для землетрясений, которые вносят наибольший вклад в сейсмическую опасность для периода повторяемости $T = 1000$ лет.

Выбор мощностей, плотностей и скоростей V_s производился на основе построенных моделей грунтовой толщи. Площадка Бетта расположена на абиссальной равнине Черного моря. Здесь наблюдается практически ровное дно (глубины 1900-2100 м).

Грунты в исследуемой области в основном однотипные (это мягкие и очень мягкие глины, толщиной от 3 до 12 м, подстилаемые полутвердыми глинами и суглинками, иногда с прослоями песка). Основная трудность при выполнении СМР морского дна состоит в том, что, как правило, отсутствуют данные о скоростях поперечных волн в

верхнем осадочном чехле. Поэтому для оценки скоростей поперечных волн V_s на площадке Бетта были использованы данные лабораторных испытаний образцов грунта (плотность и другие параметры, полученные по данным бурения), формула Гамильтона [4], и известное в сейсморазведке уравнение “*mudrock line*” («аргиллитно-глинистой линии») [5].

Уравнение Гамильтона, связывающее скорость продольных сейсмических волн и плотность осадков имеет вид:

$$V_p = 2270.9 - 1194.4\rho + 474.6\rho^2, \quad (1)$$

где V_p – скорость продольных волн в осадках в м/с, ρ – плотность осадков г/см³. Уравнение получено в результате многочисленных наблюдений в различных районах абиссали Мирового океана.

Уравнение “*mudrock line*” («аргиллитно-глинистой линии»), связывает скорости V_p и V_s в водонасыщенных осадках [5]:

$$V_p = 1.16V_s + 1.36, \quad (2)$$

где скорости V_p и V_s измеряются в км/с.

На рис. 1 представлен пример модели грунтовой толщи для точки *BSs20* (площадка Бетта).

Для точки *BSs20* выделено три слоя (границы) с разной сейсмической жесткостью:

1. мощность – 3 м, плотность – 1.55 г/см³, скорость поперечных волн – 156 м/с;
2. мощность – 1-2 м, плотность – 1.64 г/см³, скорость поперечных волн – 210 м/с;
3. подстилающая граница на глубине 6 м, ниже плотность пород определена, как 1.77 г/см³, скорость поперечных волн – 250 м/с.

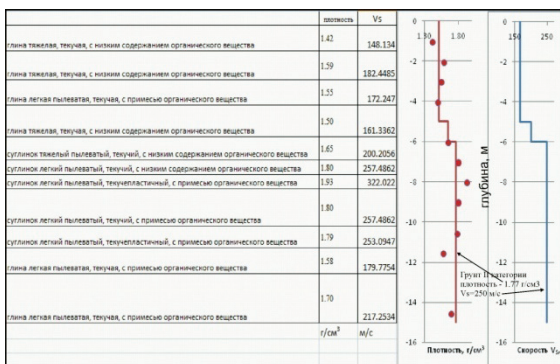


Рис. 1 - Модель грунтовой толщи для точки *BSs20* площадки «Бетта»

В верхней части разреза модель получена пересчетом плотности в скорости сейсмических волн с использованием уравнений (1) и (2). В нижней части разреза использованы скорости продольных волн по сейсмическим данным, пересчитанные в скорости поперечных волн с помощью уравнения (2)

Осадочные породы с такими сейсмическими параметрами (плотность - 1.77 г/см^3 , скорость поперечных волн – 250 м/с) можно выбрать в качестве эталонного грунта в соответствии с нормативными документами. К кровле таких грунтов и прикладывалось исходное сейсмическое воздействие (синтезированная акселерограмма).

Учет грунтовых условия для площадки «Бетта» (рис. 2) показал, что здесь возможны сотрясения интенсивностью 8.3 балла шкалы *MSK-64*. Что соответствует пиковым горизонтальным ускорениям (*PGA*) 0.25 g . Максимальная интенсивность сотрясений характерна для центрального района площадки и уменьшается в направлениях юго-запад и северо-восток до величины 8-8.1 балла.

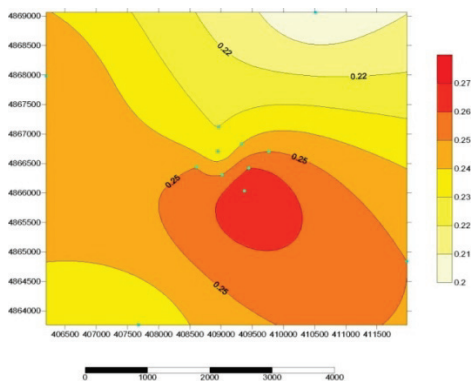


Рис. 2. Схема распределения пиковых горизонтальных ускорений *PGA* по площадке Бетта, полученная расчетными методами. Голубые кружки – расчетные точки. Цветная шкала – в единицах *PGA*, g.

Работа выполнена при финансовой поддержке ООО «Питергез» (оформление текста и рисунков), Российского Фонда Фундаментальных Исследований (Грант № 20-05-00533А, описание методики расчетов сейсмических воздействий для морских участков), Российского научного фонда (Грант № 20-77-00034, моделирование сейсмического отклика грунтов) и по Государственному заданию № 0128-2021-0004 (построение грунтовых моделей).

ЛИТЕРАТУРА

1. Kovachev S.A., Kuzin I.P., Soloviev S.L. Microseismicity of the frontal Hellenic arc according to OBS observations // *Tectonophysics*. – 1992. – Т. 201, № 3-4. – С. 317-327.
2. Куликов Е.А., Иващенко А.И., Яковенко О.И., Ковачев С.А., Медведев И.П. К вопросу о цунамиопасности арктического региона // *Арктика: экология и экономика*. – 2016. – № 3 (23). С. 38-49.
3. Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т., Камалетдинов М.А., Ковачев С.А. и др. Первая тектоносейсмическая карта Восточного Башкортостана: Монография. – Уфа: Гилем – 1995. – 44 с.
4. Hamilton E.L. Sound Velocity and Related Properties of Marine Sediments, North Pacific // *J. Geophys. Res.* – 1970. V.75, N.23. P. 4423.
5. Castagna J.P. et al. Relationships between compressional wave and shear wave velocities in elastic silicate rocks // *Geophysics*. – 1985. – V.50. – P. 571-581.

УДК 534.867

О ПАЛЕОСТРУКТУРАХ РЕКИ АШАМБА В ГОЛУБОЙ БУХТЕ СОГЛАСНО СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ

**Клюев М. С.¹, Шрейдер А. А.¹, Бреховских А. Л.¹, Ракитин И. Я.¹,
Сажнева А. Э.¹, Зверев А. С.²**

¹*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997,
г. Москва, 8(499)124-59-63, mklyuev@mail.ru*

²*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, ул.
Косыгина, д.19, 119991, г. Москва, 8(499) 137-14-84, sparker1@yandex.ru*

ABOUT PALEOSTRUCTURES OF THE ASHAMBA RIVER IN BLUE BAY ACCORDING TO SEISMOACOUSTIC DATA

**Klyuev M. S.¹, Schreider A. A.¹, Brekhovskikh A. L.¹, Rakitin I. Ya.¹,
Sazhneva A. E.¹, Zverev A. S.²**

¹*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

²*Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russian Academy of
Sciences, 19, st. Kosygin, Moscow, 119991.*

В работе исследуются палеоструктуры реки Ашамба в геоморфологии дна Голубой бухты Черного моря вблизи г. Геленджик с помощью сейсмоакустических методов.

The paper investigates the paleostructures of the Ashamba River in the geomorphology of the bottom of the Blue Bay of the Black Sea near the city of Gelendzhik using seismoacoustic methods.

Голубая (Рыбачья) бухта Черного моря расположена вблизи г. Геленджик Краснодарского края и примыкает к территории Южного отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Она является естественным природным прибрежным образованием, возникшим под влиянием различных природных факторов, в том числе и в результате формирования устья реки Ашамба (Яшамба), впадающей в бухту. Естественно предположить, что геоморфология дна Голубой бухты может нести следы воздействия реки Ашамба в периоды древнего понижения уровня Черного моря (или поднятия суши) при осушении ее акватории, что могло привести к формированию палеорусла.

Отметим, что палеоструктуры древних рек (палеорусла, палиопритоки, палеodelты и т.п.) возникают при затоплении русел, притоков и дельт действующих рек вследствие повышения уровня моря или опускания прибрежной суши и дальнейшей их эволюции в морских условиях. Они являются своеобразными маркерами колебаний уровня моря, тектонических движений его прибрежной зоны, служат аккумуляторами современных морских осадков и ископаемого органического вещества.

Эффективное дистанционное обнаружение и изучение донных речных палеоструктур прибрежной морской зоны является одной из актуальных задач современной морской геофизики.

Одной из перспективных технологий ее решения является широкополосное сейсмоакустическое профилирование и высокоточное морское позиционирование [1,2]. Ее суть заключается в вертикальном гидроакустическом зондировании прибрежной акватории по площади в широком частотном диапазоне f (от сотен килогерц до сотен герц) с использованием комбинированных диаграмм направленности θ (от узкой единицы градусов до широкой ненаправленной), и обеспечением высокоточной GPS навигации.

Наряду с этим, эта технология включает в себя классификационные признаки обнаружения и наличия речных палеоструктур в прибрежной морской зоне, разработанные в результате натурных исследований и аналитической проработки [1,2].

Кроме того, указанная технология включает площадные исследования морских полигона с обеспечением высокоточной GPS навигации [1,2].

Посредством этой технологии в 201-2020 гг. была обследована Голубая бухта вблизи г. Геленджик с помощью комплекса

гидроакустического профилирования донной поверхности и верхнего слоя осадков разработки ИО РАН (высокочастотный узколучевой эхолот $f=200$ кГц, $\theta=4^\circ$ и параметрический профилограф $f=20$ кГц, $\theta=4,5^\circ$) и сейсмоакустического комплекса «Геонт-шельф» производства ООО «Спектр-геофизика» (излучатели типа «бумер» $f=1-2$ кГц и «спаркер» $f=300-800$ Гц) [1,2].

В результате исследований были обнаружены палеоруло и палеоприток реки Ашамба на дне Голубой бухты, а также сопутствующие им газовые факелы [1,2], которые нанесены на карту в плоских географических координатах, построенную с помощью компьютерной программы Global Mapper в универсальной поперечной проекции

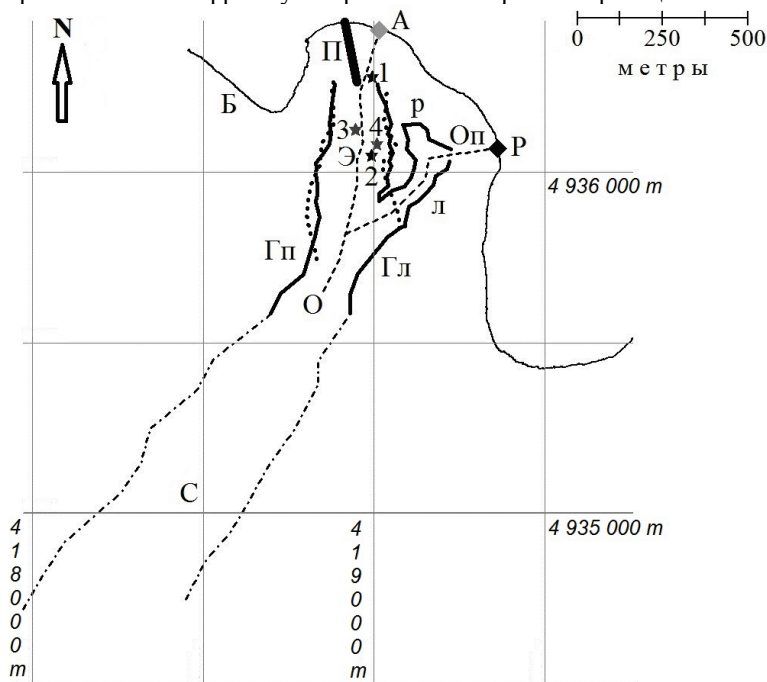


Рис.1 Карта расположения палеорула реки Ашамба, палеопритока и газовых факелов в Голубой бухте.

Меркатора UTM зона 37 (36°E-42°E северной геосферы, метры север/юг – метры запад/восток) в системе координат WGS84 (Рис. 1). Здесь Б – береговая линия, П – причал, А – современное устье реки Ашамба, О – ось палеорула реки Ашамба, Гп – правый берег палеорула Ашамбы

(сплошная линия – профилограф 20 кГц, пунктирная – «бумер» 1-2 кГц, штрих-пунктирная – «спаркер» 300-800 Гц), Гл - левый берег палеоруслу Ашамбы (сплошная линия – профилограф 20 кГц, пунктирная – «бумер» 1-2 кГц, штрих-пунктирная – «спаркер» 300-800 Гц), Р – современное устье ручья, Оп – ось палеопритока, р – правый берег палеопритока, л – левый берег палеопритока, звездочки с номерами 1-4 – некоторые газовые факелы. Отметим, что штрих-пунктирные линии (данные «спаркера») показывают положение участка палеоруслу, целиком погребенного в донных осадках, тогда как сплошные линии (данные профилографа) – возвышающегося над дном.

Кроме того, сейсмоакустические исследования дна Голубой бухты показали, что прибрежные области дна (порядка 100 метров от берега) отчасти покрыты звукопрозрачной (на частоте 20 кГц) субстанцией (возможно слабоконсолированными илами) толщиной порядка 0-30 см, которая при дальнейшем удалении от берега канализируется в палеоруслу реки Ашамбы и в ее палеопристок, где ее толщина возрастает до 100 см и более. В прилегающих к палеоруслу и палеопристоку областях эта толщина не превышает те же 0-30 см. Можно предположить, что палеоруслу реки Ашамба и ее палеопристок в настоящее время выполняют роль своеобразного коллектора для звукопрозрачной субстанции, которая под действием силы тяжести и воздействия волн на дно бухты медленно стекает с площади дна бухты в палеоруслу и палеопристок и движется по ним к более глубоким областям морского дна, где течет медленным потоком в окружающих илах. Эта предположение нуждается в дальнейшей всесторонней проверке с привлечением методов донного пробоотбора, датчиков горизонтального перемещения осадков, а также методов численного моделирования динамики осадков в прибрежной зоне.

В заключении отметим, что выявленные сейсмоакустическими методами особенности геоморфологии дна Голубой бухты с определенной долей уверенности позволяют отнести их к палеоструктурам реки Ашамба. Тем не менее, это предположение нуждается в дальнейших подробных исследованиях и обоснованиях, в том числе и путем тщательного пробоотбора и анализа морских донных осадков и отложений.

Данная работа выполнена в рамках темы Государственного задания № 0128-2021-0004 Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, а при ее подготовке использовались некоторые методики, разработанные в рамках гранта РФФИ № 20-05-00089 А.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бреховских А.Л., Вольтер Е.Р., Зверев А.С., Клюев М.С., Ракитин И.Я., Сажнева А.Э., Шрейдер А.А. Об особенностях сейсмоакустических исследований палеоструктур морского дна в прибрежной зоне // Труды ГОИН. Выпуск 221. Исследования океанов и морей. Москва, 2020. С.236-255.
2. Бреховских А.Л., Зверев А.С., Клюев М.С., Сажнева А.Э., Шрейдер А.А. О принципах сейсмоакустического изучения палеоструктур морского дна прибрежной зоны (на примере Голубой бухты) // Процессы в геосредах. 2020. № 3 (25). С.755-763.

УДК 534.867

О ТЕХНОЛОГИИ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ РЕЧНЫХ ПАЛЕОСТРУКТУР МОРСКОГО ДНА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ

**Клюев М. С.¹, Шрейдер А. А.¹, Бреховских А. Л.¹, Ракитин И. Я.¹,
Сажнева А. Э.¹, Зверев А. С.²**

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН, Нахимовский пр., 36,
117997, г. Москва, 8(499)124-59-63, mkluyev@mail.ru*

² *Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского
РАН, ул. Косыгина, д.19, 119991, г. Москва, 8(499) 137-14-84,
sparker1@yandex.ru*

ABOUT THE TECHNOLOGY OF SEISMOACOUSTIC DETECTION AND STUDY OF RIVER PALEOSTRUCTURES OF THE SEA BOTTOM IN THE COASTAL AREA

**Klyuev M. S.¹, Schreider A. A.¹, Brekhovskikh A. L.¹, Rakitin I. Ya.¹,
Sazhneva A. E.¹, Zverev A. S.²**

¹ *Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

² *Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russian
Academy of Sciences, 19, st. Kosygin, Moscow, 119991.*

В работе представлена технология сейсмоакустического обнаружения и изучения речных палеоструктур морского дна в прибрежной зоне на

примере Голубой бухты вблизи г. Геленджик.

The paper presents the technology of seismoacoustic detection and study of river paleostructures of the seabed in the coastal zone using the example of Blue Bay near Gelendzhik.

Палеоструктуры прибрежной морской зоны являются уникальными объектами морской геологии, которые возникают при затоплении дельт и русел рек вследствие повышения уровня моря или опускания прибрежной суши и дальнейшей их эволюции в морских условиях. Они являются своеобразными маркерами колебаний уровня моря, тектонических движений его прибрежной зоны, служат аккумуляторами современных морских осадков и ископаемого органического вещества.

В прикладном плане, они могут содержать россыпи ценных рудных и минеральных ископаемых (золота, платины, палладия, серебра, алмазов, рубинов, сапфиров и т.п.), которые были размыты древними водными потоками или вынесены с суши и аккумулярованы в ложе палеорула.

Одним из перспективных подходов к их обнаружению и изучению является широкополосное сейсмоакустическое профилирование [1,2]. Его суть заключается в вертикальном гидроакустическом зондировании прибрежной акватории по площади в широком частотном диапазоне ($f=200\text{кГц}-300\text{Гц}$) с использованием комбинированных диаграмм направленности (θ узкой от 4° и широкой до 180°), при обеспечении высокоточной GPS навигации.

Как показали обширные натурные исследования и испытания [1,2], для обнаружения и исследования донных палеоструктур в прибрежной зоне оказывается эффективно использовать совместно следующую аппаратуру:

- высокочастотный узколучевой эхолот (f порядка сотен килогерц θ порядка единиц градусов), в том числе и многолучевой;
- высокочастотный узколучевой профилограф (f порядка десятка килогерц, θ порядка единиц градусов);
- среднечастотный сейсмоакустический профилограф с электромеханическим излучателем типа «бумер» (f порядка единиц килогерц, θ порядка десятков градусов);
- низкочастотный сейсмоакустический профилограф с электроискровым излучателем типа «спаркер» (f порядка сотен герц, θ порядка десятков градусов);
- обеспечение высокоточной GPS навигации.

Совместное использование этой аппаратуры позволяет получать комплексную информацию о донной поверхности и строении донной толщи. Узколучевой эхолот (в том числе и многолучевой) дает информацию о форме донной поверхности, высокочастотный узколучевой профилограф – о типе и структуре верхнего осадочного слоя, средне- и низкочастотный сейсмоакустический профилограф – о более глубоких донных структурах.

Ключевым вопросом обнаружения палеоструктур являются критерии их наличия. В результате натурных исследований и аналитической проработки [1,2] были определены основные критерии и классификационные признаки наличия палеоструктур:

1. Наличие естественного «коробчатого» поперечного профиля на батиметрии морского дна и его плавное трансляционное повторение в пространстве.
2. Наличие естественного «коробчатого» профиля, заполненного осадками, на сейсмоакустической структуре морского дна и его плавное трансляционное повторение в пространстве, в том числе и на месте донного разлома.
3. Если палеоруслу приурочено к донному разлому, его поперечный профиль может искажаться вплоть до V-образного.
4. Наличие изрезанной и расчлененной геоморфологии, не подвергавшейся воздействию водного потока, говорит об отсутствии палеорусла.
5. Соответствие положения палеорусла современным речным структурам суши – руслу, берегам, долине, каньону, дельте.
6. Возможное наличие палеопритоков и палеodelьт, распознаваемых согласно тем же критериям палеорусла.
7. Наличие газовых факелов, во многих случаях, сопутствующих палеоруслу.

Под «коробчатым» профилем здесь понимается поперечный профиль в виде чаши с выраженными береговыми склонами и уплощенным дном. Он должен плавно трансляционно повторяться в пространстве, очерчивая канал палеорусла. Если палеоруслу приурочено к донному разлому, его поперечный профиль может искажаться вплоть до V-образного. Чаша палеорусла, как правило, заполнена слабо консолидированными донными осадками с ровной поверхностью, поскольку она является локальным глубинным максимумом и в него сваливается весь осадочный материал.

Наличие изрезанной и расчлененной геоморфологии (скальных осадочных пород, мерге-левых гребней, т.п.), не подвергавшейся воздействию водного потока, говорит об отсутствии палеорусла в

данном месте. Как правило, палеоруло является продолжением современного сухопутного речного русла или ее дельты. В палеоруло могут впадать палеопритоки, образуя места их слияния, и оно может разделяться на разветвления в виде палеodelьты.

Палеруслу зачастую сопутствуют газовые факелы, поскольку оно может быть приурочено к геологическим разломам, а заполняющие его осадки менее консолидированы и более прозрачны для выхода донных газов.

Таким образом, принципы обнаружения палеоструктур в прибрежной зоне заключаются в следующем:

1. Использование широкополосного сейсмоакустического зондирования морского дна при комбинированных диаграммах направленности.
2. Площадное изучение полигона с обеспечением высокоточной GPS навигации.
3. Применение критериев и классификационных признаков наличия палеоструктур.

Для обнаружения и изучения прибрежных палеоструктур согласно выработанным принципам используются комплекс гидроакустического профилирования донной поверхности и верхнего слоя осадков разработки ИО РАН (высокочастотный узколучевой эхолот $f=200$ кГц, $\theta=4^\circ$ и параметрический профилограф $f=20$ кГц, $\theta=4.5^\circ$) и сейсмоакустический комплекс «Геонт-шельф» производства ООО «Спектр-геофизика» (излучатели типа «бумер» $f=1-2$ кГц и «спаркер» $f=300-800$ Гц), а также высокоточная GPS навигация.

В качестве района поиска и изучения прибрежных палеоструктур была выбрана Голубая (Рыбацкая) бухта вблизи г.Геленджик. Она является естественным природным прибрежным образованием, возникшим под влиянием различных природных факторов, в том числе и в результате формирования устья реки Ашамба (Яшамба), впадающей в бухту.

В результате исследований согласно разработанной технологии были обнаружены и изучены палеоруло и палеопристок реки Ашамба на дне Голубой бухты, и сопутствующие им газовые факелы [1,2].

В заключении подчеркнем, что рассматриваемые методы обнаружения и изучения прибрежных донных речных палеоструктур нуждаются в дальнейшем совершенствовании. Данная работа выполнена в рамках темы Государственного задания № 0128-2021-0004 Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН, а при ее подготовке использовались некоторые методики, разработанные в рамках гранта РФФИ № 20-05-00089 А.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бреховских А.Л., Вольтер Е.Р., Зверев А.С., Клюев М.С., Ракитин И.Я., Сажнева А.Э., Шрейдер А.А. Об особенностях сейсмоакустических исследований палеоструктур морского дна в прибрежной зоне // Труды ГОИН. Выпуск 221. Исследования океанов и морей. Москва, 2020. С.236-255.
2. Бреховских А.Л., Зверев А.С., Клюев М.С., Сажнева А.Э., Шрейдер А.А. О принципах сейсмоакустического изучения палеоструктур морского дна прибрежной зоны (на примере Голубой бухты) // Процессы в геосредах. 2020. № 3 (25). С.755-763.

УДК 551.465

ЭВОЛЮЦИЯ ДНА В КОТЛОВИНЕ ПОУЭЛЛ НА СЕВЕРО – ЗАПАДЕ МОРЯ УЭДДЕЛЛА.

**Шрейдер А. А.¹, Сажнева А. Э.¹, Клюев М. С.¹, Бреховских А. Л.
¹Бохойо Ф.², Галиндо-Зальдивар Х.³, Моралес Ц.⁴, Евсенко Е.И.¹,
Гринберг О.В.¹**

¹ *Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН, 117997, Нахимовский пр-т, 36, Москва, Россия, e-mail: aschr@ocean.ru*

² *Испанский институт геологии и минералогии, 28003, Риос Росас, 23, Мадрид, Испания*

³ *Гранадский университет, 18010, s/n С.Р., ул. дель Осписио, Гранада, Испания.*

⁴ *Андалузский Институт наук о Земле, 18071, Армила С.Р, ул. Де лас Пальмерас, 4, Гранада, Испания, e-mail: aschr@ocean.ru*

BOTTOM EVOLUTION IN THE POWELL BOTTLE IN THE NORTH- WEST OF THE WEDDELL SEA

**Schreider A.¹, Sazhneva A. E.¹, Kluyev M. S.¹, Brekhovskikh A.L.¹,
Bohoyo F.², Galindo-Zaldivar J.³, Morales C.⁴, Evsenko E. I.¹**

¹ *Shirshov Institute of Oceanology RAS, 36 Nakhimov Ave., Moscow, 117997, aschr@ocean.ru*

² *Spanish Institute of Geology and Mineralogy, 23 Rios Rosas, Madrid, 28003, Spain*

³ *University of Granada, 18010, Spain, Granada s/n C. P., St. del Ospicio*

⁴ *Andalusian Institute of Earth Sciences, 18071, Spain, Granada Armilla Union, St. De LasPalmeras, 4*

Изучалась эволюция дна в котловине Поуэлл на северо-западе моря Уэдделла.

The evolution of the the bottom in the Powell Basin in the northwest of the Weddell Sea was studied

В результате обработки и анализа данных, полученных в экспедициях испанского научно-исследовательского судна «Гесперидас» проведенных в последние годы получен уникальный материал в котловине Поуэлл (северо – западе моря Уэдделла). Выделены новые и реинтерпретированы известные ранее последовательности линейных магнитных аномалий Моделирование палеомагнитных аномалий позволило составить современную версию электронной карты-схемы геохронологии ее дна. Разрастание дна в котловине началось во время хрона C17n.3n (38.159-38.333 млн. лет), а может быть и хрона C17r (38.333- 38.615 млн. лет). Спрединг шел со средней скоростью 1 см/год. Нарращивание новой океанической коры в котловине к западу от палеооси спрединга шло в целом на 10% интенсивнее, чем к востоку от нее. При этом спрединг достигал максимальных значений в интервале аномалий A15-A16 (до 1.6 см/год на востоке -1.7 см/год на западе), а минимальные величины его наблюдались в интервале аномалий A12-A13 (до 0.2 см/год на востоке – 0.5 см/год на западе). Определение эйлеровых полюсов и углов поворота позволило впервые провести детальный анализ особенностей процесса разрастания дна в процессе эволюции откола Оркнейского микроконтинента от Антарктического полуострова в процессе спрединга.

Часть работы, связанная с усовершенствованием методики кинематических расчетов, выполнена в рамках государственного задания № 0128-2021-0004. Отдельные методические вопросы прорабатывались в рамках Программы Президиума РАН проект №0149-2018-0026. Основная часть исследования выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных исследований, проект № 20-05-00089

**ДОКАЗАТЕЛЬСТВА СОВРЕМЕННОЙ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ
АКТИВНОСТИ В ОСЕВОЙ ЧАСТИ ХРЕБТА ГАККЕЛЯ ПО
ДАНЫМ МНОГОЛУЧЕВОЙ БАТИМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ**

Жолондз А.С.

*ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Английский пр., 1, 190121,
г. Санкт-Петербург, 8(812)724-14-20, okeangeo@vniio.ru*

**EVIDENCES OF CONTEMPORARY VOLCANIC ACTIVITY ON THE
AXIS OF THE GAKKEL RIDGE BY MULTI-BEAM SONAR DATA**

Zholondz A.S.

FSBI «VNIIOkeangeologia», 1, Angliysky av., Saint-Petersburg, 190121

Хребет Гаккеля является одним из наименее исследованных современными батиметрическими методами элементов дна океанов и главным эпицентром подавляющего большинства землетрясений в Евразийском бассейне Северного Ледовитого океана. В экспедиции AGAVE со дна в осевой части хребта получены образцы современных базальтов очень молодого возраста (менее 100 лет). Совместный анализ данных многолучевого эхолотирования разных экспедиций показал, что в настоящее время существуют области современной вулканической активности с формированием вулканов конической формы.

The Gakkel Ridge is the less studied element of the ocean bottom by contemporary bathymetric methods. Futhermore, it is the main epicenter of the main earthquakes in the Eurasia Basin of the Arctic Ocean. During the AGAVE expedition on the axis zone of the ridge there were got samples of the extremely young basalts that are less 100 years old. Complex analysis of multi-beam bathymetry data from different expeditions shows several areas of the contemporary volcanic activity with conic volcanoes.

Сложные ледовые условия в Евразийском бассейне Северного Ледовитого океана

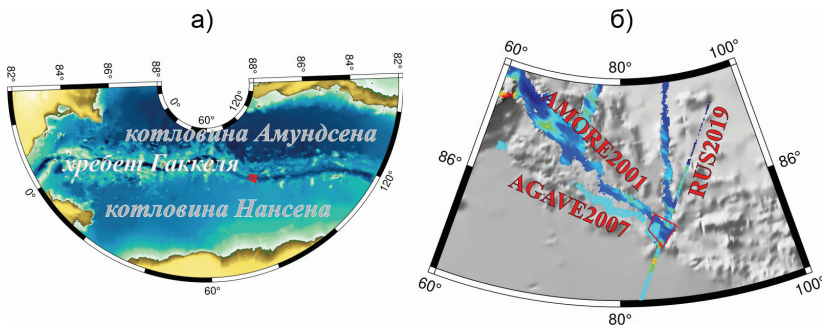


Рис. 1. Район исследований: а) в Евразийском бассейне, б) увеличенный фрагмент с нанесенными данными многолучевого эхолотирования. Батиметрическая основа ИВСаО [4]. Красной линией обведен участок, показанный на рис. 2.

существенно затрудняют прямые научные исследования на одной из важнейших для понимания геологической истории региона структуре – на хребте Гаккеля. Сейсмологический мониторинг показывает высокую сейсмическую активность в осевой части хребта. Доминирующей силой на оси является растяжение [1]. Положение рассматриваемого района на оси приведено на рис. 1 (а). Так случилось, что в одной области пересеклись пути трех экспедиций – двух зарубежных - AMORE (2001) [2] и AGAVE (2007) [3] - и одной российской - RUS2019 (2019)) (рис. 1, б).

В ходе экспедиции AGAVE2007 на хребте Гаккеля по данным многолучевой батиметрии зафиксировано положение трех конических структур – Локи (Loke), Тор (Thor) и Оден (Oden) [3,5] (рис. 2). В этом районе проведены отборы проб, в результате анализа которых установлено, что они относятся к магматическим породам очень молодого возраста. Некоторые образцы имели возраст менее 100 лет [5].

Совместный анализ данных указанных экспедиций позволил установить, что вулкан Оден сформировался в промежутке между экспедициями AMORE и AGAVE – между 2001 и 2007 годами. По всей видимости, именно этим можно объяснить столь молодой возраст некоторых поднятых образцов.

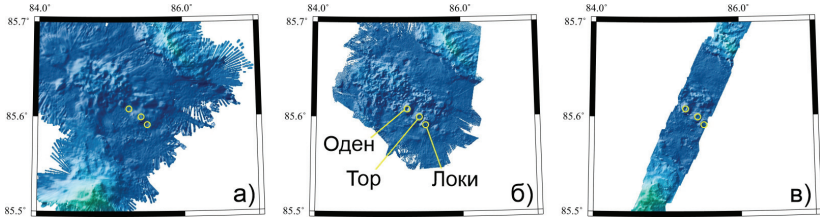


Рис. 2. Вулканы в осевой части хребта Гаккеля на данных многолучевого эхолота экспедиций: а) AMORE (2001), б) AGAVE (2007), в) российских исследований (2019).

Необходимо также отметить, что подобные конические структуры выделены и на других участках хребта Гаккеля, изученных экспедицией AMORE. Более того, по результатам анализа батиметрических данных можно сделать вывод о том, что, по крайней мере в рассматриваемой части, хребет Гаккеля имеет неоднородное строение. Глубоководные впадины на оси хребта сменяются плато разной протяженности, на которых видны аналогичные конусовидные структуры (рис. 3).

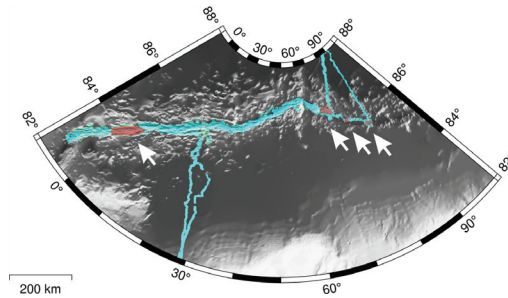


Рис. 3. Области развития конических структур (показано стрелками и цветом) в осевой части хребта Гаккеля из анализа батиметрических данных экспедиции AMORE 2001 г. Батиметрическая основа IBCAO [4] (показана в градациях серого).

ЛИТЕРАТУРА

1. Жолондз, А.С., Яновская, Т.Б. Новейшие данные о сейсмичности глубоководной части Северного Ледовитого океана // ПРОБЛЕМЫ АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ. – 2011. - №2(88). – С. 62-68.
2. Michael, P., Thiede, J., Langmuir, C., Jokat, W., Dick, H., Snow, J., Graham, D., Weigelt, E., Goldstein, S., Mühe, R., Edmonds, H., Ritzmann, O., Kurras, G., Regelous, A., Kuhnz, L., Gauger, S., Lehnert, K., Schmidt-Aursch, M., Standish, J., Soffer, G. Results of the Arctic Mid-Ocean Ridge Expedition - AMORE 2001 - Seafloor Spreading at the Top of the World. // InterRidge: International Ridge Crest Research: Arctic Ridges. – 2010. – 10. – P.57-60.
3. Sohn, R.A., Willis, C., Humphris, S., Shank, T., Singh, H., Edmonds, H.N., Kunz, C., Hedman, U., Helmke, E., Jakuba, M., Liljebldh, B., Linder, J., Murphy, C., Nakamura, K.-i., Sato, T., Schlindwein, V., Stranne, C., Tausenfreund, M., Upchurch, L., Winsor, P., Jakobsson, M., Soule, A. Explosive volcanism on the ultraslow-spreading Gakkel Ridge, Arctic Ocean. // Nature. - 2008. – 453. – P. 1236-1238.
4. Jakobsson, M., Mayer, L. A., Coakley, B., Dowdeswell, J. A., Forbes, S., Fridman, B., Hodnesdal, H., Noormets, R., Pedersen, R., Rebesco, M., Schenke, H.-W., Zarayskaya Y. A., Accettella, D., Armstrong, A., Anderson, R. M., Bienhoff, P., Camerlenghi, A., Church, I., Edwards, M., Gardner, J. V., Hall, J. K., Hell, B., Hestvik, O. B., Kristoffersen, Y., Marcussen, C., Mohammad, R., Mosher, D., Nghiem, S. V., Pedrosa, M. T., Travaglini, P. G., Weatherall, P. The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) Version 3.0 // Geophysical Research Letters. – 2012. Vol. 39. – P. 1-6 - doi: 10.1029/2012GL052219.
5. Pontbriand, C. W., Soule, S. A., Sohn, R. A., Humphris, S. E., Kunz, C., Singh, H., Nakamura, K., Jakobsson, M., Shank T. Effusive and explosive volcanism on the ultraslow-spreading Gakkel Ridge, 85°E // Geochem. Geophys. Geosyst. – 2012. – Vol. 13. – 10. – P. 1-22. doi:10.1029/2012GC004187.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ДОННЫХ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ
НАБЛЮДЕНИЙ В АКВАТОРИИ ПЕРСИДСКОГО ЗАЛИВА**

Ковачев С.А., Крылов А.А., Егоров А.В.

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

**RESULTS OF BOTTOM SEISMOLOGICAL OBSERVATIONS IN THE
PERSIAN GULF**

Kovachev S.A., Krylov A.A., Egorov A.V.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences
36, Nahimovsky Prospect, Moscow, Russia, 117997*

В статье представлены результаты донного сейсмологического мониторинга, который ИО РАН проводил в акватории Персидского залива. Высокоточные сейсмологические наблюдения с использованием донных сейсмографов позволили обнаружить сейсмофокальный слой, круто падающий под горы Загрос до глубины 180 км.

The article presents the results of bottom seismological monitoring carried out by the IO RAS in the Persian Gulf. High-precision seismological observations using bottom seismographs made it possible to detect a seismic focal layer steeply falling under the Zagros Mountains to a depth of 180 km.

Донные сейсмологические наблюдения в акватории Персидского залива проводились с борта НИС "Профессор Штокман" в марте-апреле 1999 г. Всего для регистрации землетрясений было выполнено 3 расстановки (№№ 4-6) донных сейсмографов, в которых было задействовано от 6 до 4 донных сейсмографов. При обработке записей землетрясений четвертой расстановки привлекались также данные 3 береговых сейсмографов ИО РАН (рис. 1). Работы выполнялись для получения информации, необходимой для оценки сейсмической опасности для АЭС Бушер.

Положение донных сейсмографов на расстановках №№ 4-7 показано на рис. 1. Донные сейсмографы, использовавшиеся для проведения морских сейсмологических наблюдений, описаны в [1,2], а

способы их постановки на дно в работе [3]. Наличие донных сейсмографов позволяет использовать методику сейсотектонического анализа, описанную в работе [4] и определять параметры сейсмического режима, необходимые для оценки сейсмической опасности в акваториях [5-7].

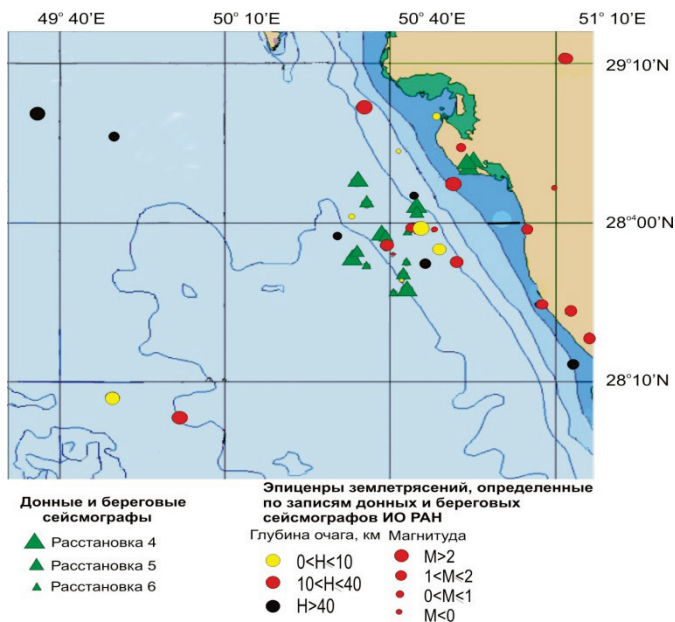


Рис. 1 – Положение донных и береговых сейсмографов ИО РАН и эпицентры землетрясений, определенные по донным сейсмологическим наблюдениям в акватории Персидского залива

Всего за 23 суток регистрации землетрясений в Персидском заливе было определено 69 очагов. Образец сейсмограммы приводится на рис. 2. Магнитуды этих сейсмических событий попали в диапазон от -0.2 до 2.4. Они вычислялись по методике, описанной в работе [8].

Определение координат эпицентров и глубин очагов выполнялось по программе НУРО-71. Сейсмически активными оказались кора и верхи мантии района. Очаги землетрясений определены на глубинах от 0 до 180 км (см. рис. 1).

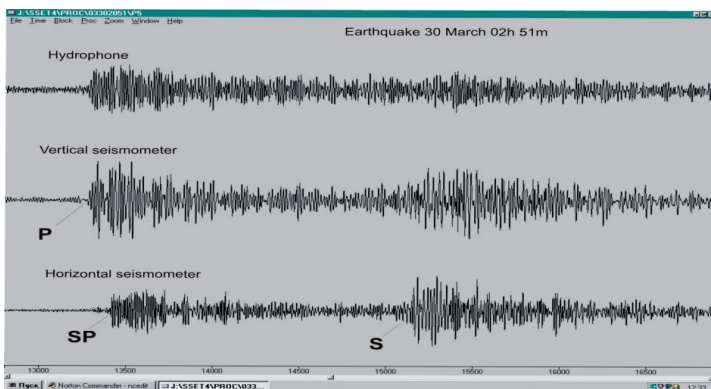


Рис.2 – Запись глубокофокусного землетрясения в Персидском заливе, полученная донным сейсмографом ИО РАН

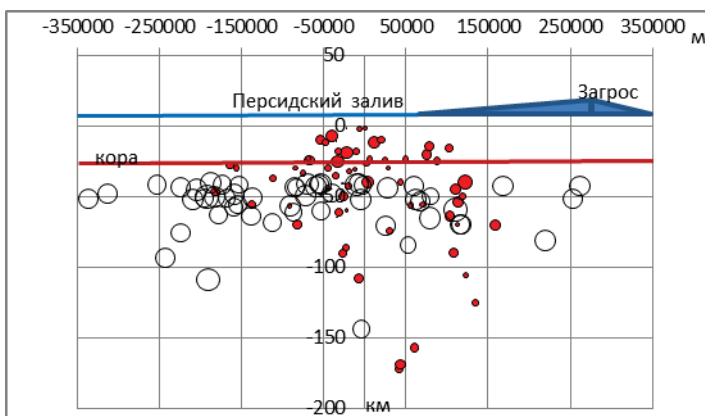


Рис. 3 - Вертикальный разрез земной коры и верхов мантии в акватории Персидского залива и гор Загрос (по азимуту -20° относительно направления на север) с проекцией очагов землетрясений: красные кружки – данные морских наблюдений ИО РАН, светлые кружки – мантийные эпицентры по данным Геологической службы США

На рис.3 представлен вертикальный разрез земной коры и верхов мантии Персидского залива, ориентированный в направлении -20° относительно направления на север, с проекциями очагов землетрясений. Видно, что фокусы землетрясений, обнаруженные в результате высокоточных донных сейсмологических наблюдений,

образуют сейсмофокальный слой мощностью порядка 80 км, круто падающий в мантии под горы Загрос до глубины 180 км. Наличие слоя можно объяснить коллизией или псевдосубдукции Аравийской плиты и Загросской складчатой системы.

Работа выполнена при поддержке ООО «АтомЭнергоПроект», Российского Фонда Фундаментальных Исследований (Грант № 20-05-00533А) и по Государственному заданию № 0128-2021-0004.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев С.Л., Ковачев С.А., Мишарина Л.А., Уфимцев Г.Ф. Сейсмоактивность поперечных нарушений в Ольхоно-Святоносской зоне озера Байкал // Доклады Академии наук СССР. – 1989. – Т. 309, № 1. – С. 61-64.
2. Solov'ev S.L., Kovachev S.A., Kuzin I.P., Tassos S. Seismicity of the crust of the Aegean Sea from sea bottom seismological observations // Доклады Академии наук СССР. 1989. – Т. 305, № 5. – С. 1085-1089.
3. Ковачев С.А., Кузин И. П., Соловьев С. Л. Кратковременное изучение микросейсмичности губы Буор-Хая, море Лаптевых, с помощью донных сейсмографов // Физика Земли. – 1994. – № 7-8. – С. 65-76.
4. Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т., Камалетдинов М.А., Ковачев С.А. и др. Первая тектоносейсмическая карта Восточного Башкортостана: Монография. – Уфа : Гилем – 1995. – 44с.
5. Ковачев, С.А. Результаты сейсмологических наблюдений на западе Калининградской области и на акватории Балтийского моря // Физика Земли. – 2008. – № 9. – С. 20-31.
6. Kovachev S.A., Kuzin I.P., Soloviev S.L. Microseismicity of the frontal Hellenic arc according to OBS observations // Tectonophysics. – 1992. – Т. 201, № 3-4. – С. 317-327.
7. Куликов Е.А., Иващенко А.И., Яковенко О.И., Ковачев С.А., Медведев И.П. К вопросу о цунамиопасности арктического региона // Арктика: экология и экономика. – 2016. – № 3 (23). – С. 38-49.
8. Ковачёв С.А., Соловьёв С. Л. Об определении локальной магнитуды местных землетрясений по наблюдениям донных сейсмографов // Физика Земли. – 1996. – № 5. – С. 26-30.

ГЛУБИННОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ В АКВАТОРИИ ПЕРСИДСКОГО ЗАЛИВА

Ковачев С.А., Крылов А.А., Ганжа О.Ю., Егоров А.В.

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

DEEP SEISMIC SOUNDING OF THE EARTH'S CRUST IN THE PERSIAN GULF

Kovachev S.A., Krylov A.A., Ganga O.Yu., Egorov A.V.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences
36, Nahimovsky Prospect, Moscow, Russia, 117997*

В статье представлены результаты интерпретации данных глубинного сейсмического зондирования, которое ИО РАН проводил в акватории Персидского залива. Сейсмические исследования позволили оценить мощность земной коры района в 30 км и определить ее скоростную структуру. Разломы здесь обнаружены не были.

The article presents the results of the interpretation of the data of deep seismic sounding which the IO RAS carried out in the Persian Gulf. Seismic studies made it possible to estimate the thickness of the earth's crust in the region at 30 km and determine its velocity structure. No faults were found here.

Сочетание методов пассивной сейсмологии (сейсмологии) [1-7] и активных сейсмических исследований (глубинного сейсмического зондирования, ГСЗ) [8,9] в акваториях позволяют обнаружить новые особенности сейсмического процесса и разломной тектоники, что является необходимым для оценки сейсмической опасности при строительстве морских и береговых сооружений.

Работы по ГСЗ в акватории Персидского залива проводились с борта НИС "Профессор Штокман" в марте-апреле 1999 г. Методика проведения работ описана в работах [8,9]. Описание использовавшейся аппаратуры приводится в работах [1,2,8], а методика установки приборов на дно дана в работе [7]. Всего была выполнена протрелка 3

профилей длиной 100-240 км с использованием 10 донных сейсмографов и 2 пневмоисточников ПИ-5 с объемом камер 30 л (рис. 1). Работы выполнялись для получения информации о разломах в акватории Персидского залива, необходимой для оценки сейсмической опасности для АЭС Бушер в Иране.

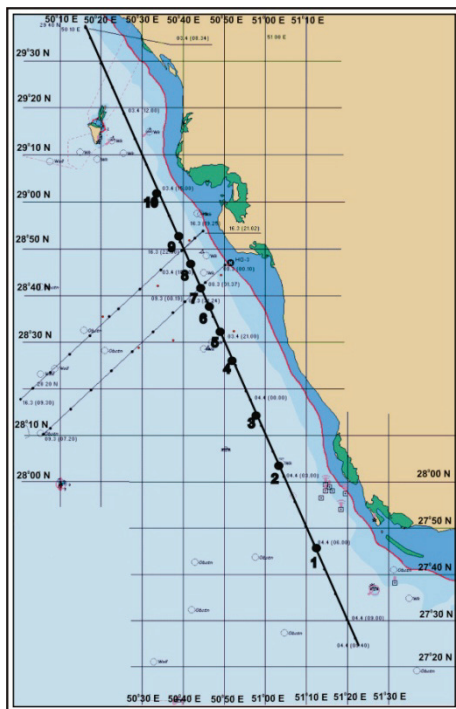


Рис. 1 – Положение донных сейсмографов ИО РАН и линия прорезки на профиле 3 ГСЗ в Персидском заливе

По полученным сводным сейсмограммам (образец на рис. 2) были построены системы экспериментальных годографов преломленных продольных волн, которые затем сравнивались с расчетными годографами, полученными решением прямой задачи. Минимизация невязок между ними позволила построить двумерные скоростные разрезы земной коры (пример на рис. 3).

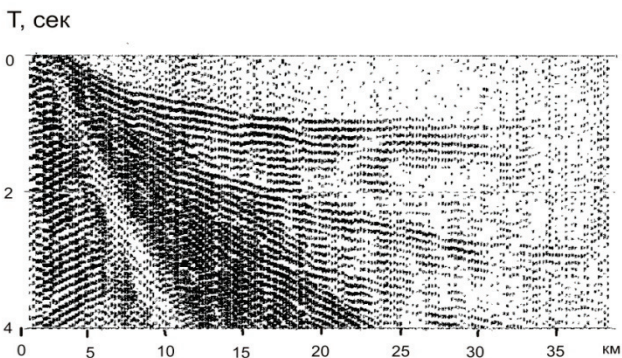


Рис. 2 – Сводная сейсмограмма сигналов пневмоисточника, полученная гидрофоном донного сейсмографа на профиле 1 в точке 8, редукция 6 км/с

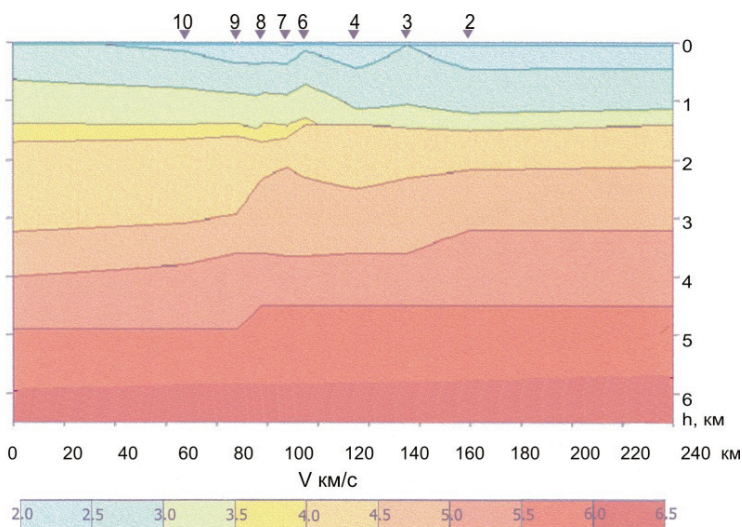


Рис. 3 - Вертикальный разрез земной коры вдоль профиля 3 в акватории Персидского залива

На профиле 3 были обнаружены приходы сейсмически волн, которые были интерпретированы, как закрытые отражения от подножья земной коры (граница Мохоровичича). По этим данным была

сделана оценка мощности земной коры в Персидском заливе, которая составила 30 км. Разломы здесь обнаружены не были.

Работа выполнена при поддержке ООО «АтомЭнергоПроект», Российского Фонда Фундаментальных Исследований (Грант № 20-05-00533А) и по Государственному заданию № 0128-2021-0004.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев С.Л., Ковачев С.А., Мишарина Л.А., Уфимцев Г.Ф. Сейсмоактивность поперечных нарушений в Ольхоно-Святоносской зоне озера Байкал // Доклады Академии наук СССР. – 1989. – Т. 309, № 1. – С. 61-64.
2. Solov'ev S.L., Kovachev S.A., Kuzin I.P., Tassos S. Seismicity of the crust of the Aegean Sea from sea bottom seismological observations // Доклады Академии наук СССР. 1989. – Т. 305, № 5. – С. 1085-1089.
3. Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т., Камалетдинов М.А., Ковачев С.А. и др. Первая тектоносейсмическая карта Восточного Башкортостана: Монография. – Уфа : Гилем – 1995. – 44с.
4. Ковачев, С.А. Результаты сейсмологических наблюдений на западе Калининградской области и на акватории Балтийского моря // Физика Земли. – 2008. – № 9. – С. 20-31.
5. Kovachev S.A., Kuzin I.P., Soloviev S.L. Microseismicity of the frontal Hellenic arc according to OBS observations // Tectonophysics. – 1992. – Т. 201, № 3-4. – С. 317-327.
6. Куликов Е.А., Иващенко А.И., Яковенко О.И., Ковачев С.А., Медведев И.П. К вопросу о цунамиопасности арктического региона // Арктика: экология и экономика. – 2016. – № 3 (23). – С. 38-49.
7. Ковачев С.А., Кузин И. П., Соловьев С. Л. Кратковременное изучение микросейсмичности губы Буор-Хая, море Лаптевых, с помощью донных сейсмографов // Физика Земли. – 1994. – № 7-8. – С. 65-76.
8. Гринько Б.Н., Ковачев С.А., Хортов А.В. Строение вала Шатского (Черное море) по результатам региональных сейсмических исследований // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. – 2004. – Т. 79, № 3. – С. 3-7.
9. Гринько Б.Н., Ковачев С.А., Хортов А.В. Глубинно-скоростная модель вала Шатского по данным МОГВ-МПВ // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2003. – № 6. – С. 49-52.

**АКТУАЛЬНЫЕ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДОБЫЧИ
ГЛУБОКОВОДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В
МЕЖДУНАРОДНОМ РАЙОНЕ МОРСКОГО ДНА**

Мустафина Ф.И.^{1,2}, Черкашев Г.А.^{1,2}

¹ *ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И.С. Грамберга», Английский пр., 1, 190121, г. Санкт-Петербург, +7 (812) 713-83-79, okeangeo@vniio.ru*

² *Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб., 7-9, 199034, г. Санкт-Петербург, +7 (812) 36-36-636, spbu@spbu.ru*

**CURRENT ECONOMIC ASPECTS OF DEEP-SEA MINERAL
EXPLOITATION IN THE INTERNATIONAL SEABED AREA**

Mustafina F.^{1,2}, Cherkashev G.^{1,2}

¹ *FSBI “Academician I. S. Gramberg All-Russia Scientific Research Institute for Geology and Mineral Resources of the Ocean”, 1, Angliyskiy av., Saint Petersburg, 190121*

² *Saint Petersburg State University, 7/9 Universitetskaya Emb., Saint Petersburg, 199034*

В работе раскрыты актуальные экономические аспекты добычи морских минеральных ресурсов, рассмотрение которых, наряду с геологическими и техническими вопросами, важно для перехода к новому виду ресурсов. Рассмотрены вопросы распределения прибыли, а также возможных последствий деятельности.

The paper reveals current economic aspects of exploitation of deep-sea mineral resources. Along with geological and technical issues, consideration of economic aspects is also important for the transition to the new type of mineral resources. This includes issues of profit sharing and possible consequences of activities.

Такие металлы, как медь, кобальт, никель и марганец имеют важное значение для человечества. В современное время добыча этих

металлов из наземных запасов полезных ископаемых связана с рядом проблем. Эти проблемы открывают возможности для добычи глубоководных полезных ископаемых (полиметаллических конкреций, железомарганцевых корок и гидротермальных сульфидов). Однако, прежде чем переходить к глубоководной добыче полезных ископаемых, необходимо учитывать наземные запасы полезных ископаемых, конъюнктуру мирового рынка металлов и провести экономический анализ проекта, а также рассмотреть правовые, социальные и экологические аспекты такой деятельности. Основной целью доклада является рассмотрение экономических аспектов глубоководной добычной деятельности.

На данный момент глубоководные полезные ископаемые находятся на стадии разведки. В зависимости от местонахождения, они попадают под два правовых режима: в пределах и вне национальной юрисдикции. В докладе рассмотрены полиметаллические конкреции, найденные в международном районе морского дна (далее – Район). Главная правовая основа деятельности в Мировом океане – Конвенция ООН по морскому праву (далее – Конвенция), а Добычной Кодекс непосредственно для глубоководной добычи находится на стадии разработки. Согласно Конвенции, ресурсы Района являются общим наследием человечества, поэтому прибыль, полученная в результате глубоководной добычи полезных ископаемых, должна быть разделена между участниками добычного процесса и заинтересованными лицами. Таким образом, прежде чем переходить к глубоководной добыче, Международному Органу по морскому дну (далее – Орган) необходимо принять Добычной Кодекс и создать механизм справедливого распределения финансовых и других экономических выгод от деятельности в Районе на недискриминационной основе [1].

Таким образом, была проанализирована финансовая модель механизма распределения прибыли, разработанная Массачусетским технологическим институтом по заказу Органа, и даны рекомендации по ее совершенствованию [2]. Эта модель рассматривает последствия введения альтернативных механизмов финансовых платежей, в которых определяются правила и ставки выплат добывающих фирм (далее – подрядчиков) Органу в соответствии с будущими контрактами на разработку, заключенными с Органом.

В модели рассматривается 3 возможных вида выплат:

- Адвалантные (основанные на извлекаемой ценности);
- Основанные на прибыли;
- Комбинированные.

В связи с возникшими трудностями и неточностями, решение по выбору системы выплат еще не было принято.

Предполагается, что выплаты могут быть основаны на извлекаемой ценности металлов, содержащихся в конкрециях. Цены на металлы значительно отличаются, кроме того, из-за волатильности цен создаются неточности в работе, невозможно спрогнозировать их изменение. В связи с тем, что цены на металлы варьируются, нами было предложено разделить выплаты для каждого из четырех металлов.

Установление и комбинирование разных видов выплат так или иначе влияет на внутреннюю норму доходности (далее – ВНД) контрактора и чистый дисконтированный доход (далее – ЧДД) Органа. Все заинтересованные лица хотят получать большую прибыль. По результатам модели ВНД контрактора составляет 17-18%, однако, по нашему мнению, это значение слишком мало и должно быть пересмотрено [2].

Очередным экономическим аспектом, требующим дальнейшего изучения, является цена конкреций. Так как на данный момент не существует рынка конкреций, невозможно установить на них цены. В модели определенно существуют неточности, связанные с ценой конкреций.

Важную роль в определении ставок выплат в модели играют ставка дисконтирования и ставка налога спонсирующего государства. Так как модель теоретическая и не основана на каком-либо определенном государстве, эти ставки являются переменными и создают неточности, поэтому и должны быть в дальнейшем тщательно рассмотрены.

Важным экономическим аспектом, следующим за проблемой перехода к добычной деятельности, является оценка последствий такой деятельности, в первую очередь, на развивающиеся государства-производители на суше. В настоящее время металлы на суше добываются в развивающихся государствах, экономика которых основана на добыче и экспорте этих металлов. С началом глубоководной добычи, эти государства рискуют пострадать, а как именно и в какой степени – это тема будущих исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. ООН. Конвенция Организации Объединенных Наций по морскому праву / Организация Объединенных Наций. - Нью-Йорк, США, 2018. - 277 с.

2. MIT. Report to the International Seabed Authority on the Development of an Economic Model and System of Payments for the Exploitation of Polymetallic Nodules in the Area / Massachusetts Institute of Technology, Materials Systems Laboratory. - Cambridge, MA USA, 2019. - 77 p.

УДК 551. 465

О ДИНАМИКЕ ОСАДОЧНЫХ ВОЛН НА ЗАПАДНОМ СКЛОНЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Амбросимов А.К.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Москва, Нахимовский пр-кт, 36*

DYNAMICS OF SEDIMENTARY WAVES ON THE WESTERN SLOPE OF THE CASPIAN SEA

Ambrosimov A.K.

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospekt, Moscow, 117997*

В статье по данным исследования динамики осадочных волн на западном склоне Каспийского моря обсуждается процесс образования волновой структуры осадочных волн.

The article discusses the process of formation of the wave structure of sedimentary waves based on the study of the dynamics of sedimentary waves on the western slope of the Caspian Sea.

Волнообразные осадочные структуры или осадочные волны (ОВ) широко распространены на континентальном склоне морей и океанов [8-10]. В зависимости от доминирующих процессов в литературе присутствуют две основных концепции образования осадочных волн – в одной образование ОВ связывают с деформацией осадков в результате процессов гравитационного оползания, например индуцируемого землетрясением или медленной деформацией крипа в результате длительного воздействия постоянного давления на неуплотненные

осадки на неровностях поверхности морского дна [10], – в другой основная роль в образовании волновой структуры ОВ отводится гидравлическому воздействию внутренних волн и придонных течений на осадочный материал, когда формирование циклической структуры ОВ на склонах происходит под воздействием периодических гидравлических скачков давления на осадки [9, 11]. Эти скачки давлений генерируются мутьевыми потоками при обтекании осадочных волн вниз по склону, когда выполняется условие перехода числа Фруда от значений $Fr < 1$ к значениям, когда $Fr > 1$ (рис. 1). Анализ спектральных характеристик течения над ОВ, показал, что циклическое воздействие на ОВ могут создавать как приливные, так и инерционные волны, однако характер этих воздействий разный. Приливные волны обладают как прямым действием - нагнетанием осадков (приливы), так и обратным - размывом (отливы). Давление же инерционных волн на осадки изменяется периодически по закону вращающегося эллипса, потому в этом случае процесс воздействия более сложный [3]. Для создания циклических гидравлических скачков давления скорость потока вниз по склону должна удовлетворять условию $Fr > 1$ [12–13], где линейные размеры ОВ и впадин между ними, в условиях Фруда, будут определяться длиной разгона потока и его торможением, т.е. опосредованно уклоном склона. По литературным данным для обеспечения условий образования гидравлических скачков давления в мутьевом потоке необходим уклон не менее 0.01 [10]. Для исследуемого участка западного склона уклон составляет 0.032, т.е. условия для образования ОВ вполне достаточные.

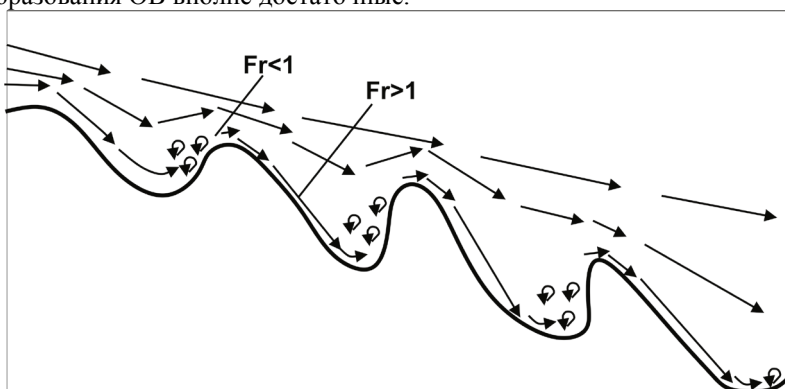


Рис. 1. Схема образования гидравлических скачков над осадочными волнами.

При выпадении осадка происходит распределение взвеси, переносимой плотностными потоками, идущими с бровки шельфа вниз

по склону, по размеру и плотности. На склонах осадочных волн, обращенных вверх, откладывается более грубый материал и в большем количестве (поток осадков тормозится), а на противоположном склоне ОВ обращенном вниз – более тонкий осадок и в меньшем количестве (поток осадков разгоняется). В результате мощности индивидуальных слоев на разных флангах каждой волны – разные, образуется асимметрия волн с миграцией вершин в сторону берега (источника сноса). Вниз по склону, как правило, наблюдается уменьшение размеров осадочных волн, скорости придонного течения и поступление осадка. В процессе формирования ОВ на западном склоне Среднего Каспия, кроме мутьевых плотностных потоков с шельфа, скатывающихся вниз по склону, всегда участвует и вдольсклоновое контурное течение, насыщенное взвешенным материалом стоковых вод рек, впадающих в море.

Процесс осадконакопления в Каспийском море носит сезонный характер. В летний сезон стоковыми водами рек Волги, Урала и северного Кавказа выносятся в море огромное количество взвешенного материала. Течение в этот период ослабевает до 7–20 см/с и разбивается на ветви (рис. 2). Начиная с конца мая течение в верхней части склона на глубинах от 50 м до дна (150 м) с юго-восточного направления разворачивается на западное и северо-западное, на глубинах моря 250–300 м в слое от 150 м до дна движение вод сохраняется в юго-восточном направлении, а на глубинах моря ниже 250–300 м течение во всем слое направлено на юг и юго-восток [1]. Данные седиментационных ловушек показали, что в летний сезон при уменьшении скорости течения происходит обильное накопление осадка, а в зимний, при усилении средней скорости потока до 25–30 см/с и максимальной до 70–100 см/с от поверхности до дна строго в юго-восточном направлении, количество взвеси уменьшается, [1,5].

Профилирование вдольсклонового течения доплеровским профилографом ADCP-150 над осадочными волнами, выполненное поперек западного склона в экспедиции на НИС «Гантал» осенью 2016 г. над ОВ показало (рис. 3), что над вершинами ОВ скорости меньше, чем во впадинах между волнами. Статистически значимое различие по скорости составило от 30 до 50%, при диапазоне изменения скоростей от 5 до 17 см/с. Различие в скоростях подтверждается также данными отраженных акустических сигналов – во впадинах между ОВ поверхность дна акустически более плотная, а тела осадочных волн рыхлые со следами борозд от промоин [1, 8].

Повторные измерения были проведены в июле 2008 г. по центральному галсу 2007 года, которые показали полное совпадение

профилей осадочных волн в зональном направлении. Галсы площадной съемки были осуществлены с помощью судового эхолота Furuno-3000. Для выявления дополнительных деталей рельефа дна было выполнено семь галсов эхолотного промера протяженностью 6.5 км с межгалсовыми расстояниями между ними в 1 км [2, 4]. Профили батиметрии и рельеф дна по данным съемок 2007 и 2008 гг. представлены рис. 4, где прямоугольником на рис. 4б и 4в показана съемка 2007 г., а на рис. 4г – съемка 2008 г. Наиболее крупные ОВ наблюдаются в верхней части склона.

Для оценки динамики рельефа ОВ в августе 2007 г. в рейсе № 21/3 НИС «Рифт» было проведено сейсмоакустическое профилирование склона Дербентской котловины в зональном направлении на траверзе устья р. Самур. Задачами исследований на полигоне было определение области простираения характерных морфометрических параметров донных отложений и изучение механизма образования и динамики ОВ.

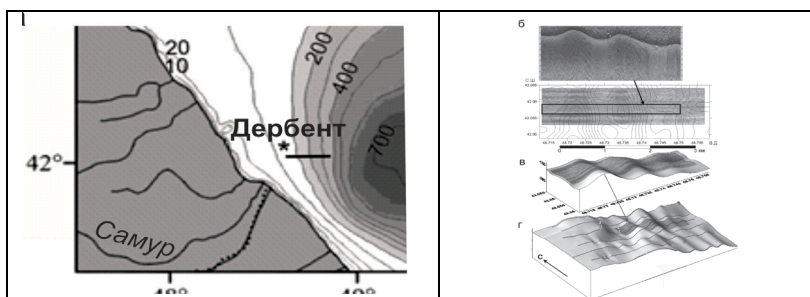


Рис. 4. Рельеф площадной съемки дна в районе западного континентального склона Каспийского моря на траверзе впадения р. Самур по данным измерений ИГБО-100 (2007 г.) и Furuno-3000 (2008 г.) Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект № 14-50-00095).

Съемка была выполнена в августе 2007 г., по галсам широтного направления длиной 6,5 км с межгалсовыми расстояниями 200 м на глубинах от 100 до 348 м с координатами начала и конца центрального галса: 42°01'с.ш., 48°40'в.д. и 42°04'с.ш., 48°40'в.д. с помощью гидролокатора бокового обзора ИГБО-100. Максимальная глубина проникновения сейсмоакустического сигнала в донные осадки составляла около 300 м при вертикальном разрешении 1,5 м. ОВ на бровке склона имеет высоту около 20 м относительно шельфа, а относительно ложбины на склоне – 30 м, высота второй ОВ относительно верхней ложбины 30 м, а нижней – 45м, для третьей ОВ – 20 и 60 м соответственно, для четвертой – 10 и 25 м и далее по

убыванию. Высоты ОВ относительно верхних ложбин составляют 10-30 м, а относительно нижних – 25-60 м и уменьшаются по мере движения вниз по склону. Расстояние между гребнем ОВ на бровке и следующей ОВ на склоне составило 3,5 км, а расстояния между гребнями соседних антиклиналей или ядрами синклиналей на склоне – около 1 км. Расстояния между пятью первыми вниз по склону ОВ составили 3.44, 1.03, 1.17 и 0,97 км.

Работа выполнена в рамках Госзадания (тема № 0128-2021-0004).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Амбросимов А.К.//Метеорология и гидрология. 2016. № 1. С. 60–77.
2. Завьялов И.Н., Жмур В.В. // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. Т. 50. N. 3. 2014. С.345-354.
3. Лисицын А.П., Лукашин В.Н.,//Доклады РАН. 2014. Т. 456, № 4. С. 485–489.
4. Амбросимов А.К., Лобковский Л.И., Росляков А.Г. // Доклады РАН. 2018. Т. 481. № 2. С.1119-1123.
5. Cattaneo A., Gorregiari A., Marsset T. et. al. // Mar/ Geol. 2004. V. 213. P. 121-148.
6. Jakob A. Covault, Svetlana Kostic, Charles K. Paull et. al. // Mar.Geol. 2017. V. 393. P. 4-20.
7. Faugeres J.C., Gonthier E., Mulder et. al. // Mar.Geol. 2002. V. 182. P. 279-302.
8. Komar P.D. Hydraulic jumps in turbidity currents // Geol. Soc. Am/ Bull. 1971. 82 (6). 1477-1488.
9. Russel B., Wynn, Dorrik A.V., Stow // Mar.Geol. 192. 2002. P. 1-3.

УДК 551. 465

О ВОЗДЕЙСТВИИ МЕТАНОВЫХ СИПОВ НА ГИДРОЛОГИЮ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ

Амбросимов А.К.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Москва, Нахимовский пр-кт, 36*

ON THE IMPACT OF METHANE SEEPS ON THE HYDROLOGY OF THE EAST SIBERIAN SEA

Ambrosimov A.K.

*Institute of Oceanology named after P.P. Shirshov RAS,
Moscow, Nakhimovsky pr-kt, 36*

В работе по данным экспедиционных наблюдений исследуется проявление климатических изменений в арктических морях.

In this work, based on the data of expeditionary observations, the manifestation of climatic changes in the Arctic seas is studied.

Осенью 2019 года в Российской зоне Арктики была проведена многодисциплинарная экспедиция по изучению северных морей России на НИС «Академик Мстислав Келдыш». Экспедиционные исследования охватывали Восточно-Сибирское, Карское и море Лаптевых (рис. 1). Основной целью 78-го рейса было изучение процессов, происходящих в морской среде Арктики в условиях потепления климата, освобождения ото льда огромных пространств шельфовой зоны и многократного увеличения выбросов метана из донных отложений.

Глобальное потепление климата сдвинуло зону ледового покрытия Восточно-Сибирского моря далеко на север, в результате чего открылись обширные неизученные пространства шельфовой зоны России, о которых, практически, отсутствует океанологическая информация. Восточно-Сибирское море неглубокое с очень обширным шельфом, практически, до настоящего времени покрытым льдами. На этих пространствах в последние годы зарегистрированы обширные провинции выходов метана из морских недр. Экспедиционные исследования, проведенные на судах РАН, показали, что суммарный вклад выбросов метана из Восточно-Сибирского моря в атмосферу Земли представляет огромную величину, которая оказывает ускоряющее влияние на потепление климата Земли. А чем теплее климат, тем большие водные пространства открываются ото льда, усиливается таяние вечной мерзлоты и, как следствие, открываются еще больше источников выбросов метана в атмосферу. Считалось, что плотно запечатанные 200-метровым слоем вечной мерзлоты, газы вырваться из морских недр Арктики наружу не могут. Однако в результате потепления в северных морях России образовались обширные площади, где наблюдаются выходы метановых сипов

(рис.2а). Часть газа растворяется в морской воде, а большая часть уходит в атмосферу.

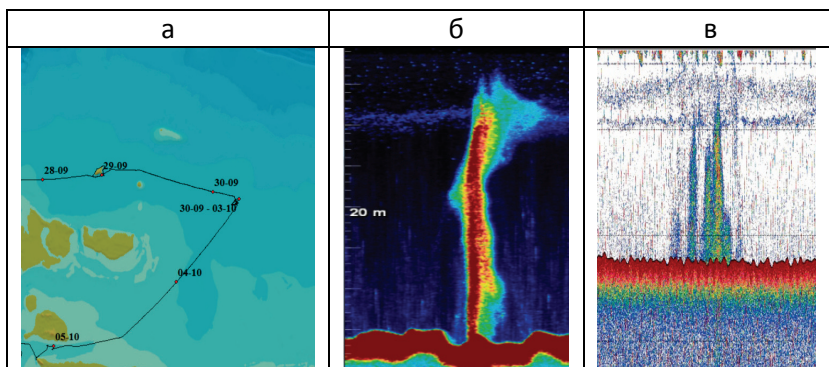


Рис.1 а) - схема маршрута и океанологических станций 78-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Восточно-Сибирском море; б,в) - «факелы» метановых сипов на полигоне Восточно-Сибирского моря.

Дно Восточно-Сибирского моря представляет собой обширную шельфовую зону, поверхность которой перепахана ледниками и стамухами в разных направлениях. Исследования показали, что большинство выходов сипов на дне моря сосредоточены в глубоких экзарационных бороздах. Экзарационные борозды – это линейные углубления на дне моря, образованные пропахиванием дна нагромождениями льда, называемые стамухами.

Стамухи образуются в результате торошения и наползания друг на друга многомиллионных тонн глыб льда под действием ветра и течений. Эти ледяные образования могут стоять на дне моря глубинах до 100 м и более и двигаться под воздействием ветра и течений. При движении эти нагромождения пропахивают дно и образуют экзарационные борозды глубиной до 5-6 м. Есть свидетельства, что, работая как бульдозер, в мелководных районах шельфа стамухи могут образовывать временные острова из донных отложений. Углубляясь в донные отложения ледяные стамухи освобождают газы находящиеся в верхнем слое вечной мерзлоты. Поднимаясь вверх газы нарушают гидрологическую структуру термоклина.

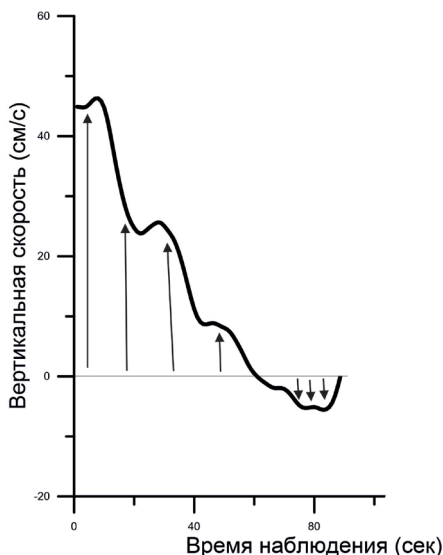


Рис. 3. Вертикальное распределение скорости подъема воды в сипе по данным пересечения сипа бортовым ADCP DVS-750.

На одной из океанологических станций был выполнен эксперимент по определению величины скорости подъема воды в сипе, вовлекаемой вверх, поднимающимися вверх пузырьками газа. Для этого в центр сипа диаметром около 6-8 м на глубину 3 м был опущен ADV DVS-750, который в течение ~90 сек дрейфовал к его периферии. Результаты наблюдений представлены на рис. 3. Оценка скорости вертикального подъема воды, выполненная с помощью ADCP показала, что в центре сипа вертикальный перенос (апвеллинг) достигал 50 см/с, а за его краем скорости были отрицательные – поднятая со дна холодная вода опускалась со скоростью около 4 см/с. Следует отметить, что ADV не измеряет скорость воды, он измеряет доплеровский сдвиг отраженного акустического сигнала от взвешенных в воде частиц движущихся вместе с водой. При акустических измерениях, поднимающиеся пузырьки газа играют ту же роль, что и взвесь. Однако пузырьки поднимаются быстрее воды, поэтому, фактически, измерялась скорость подъема пузырьков. Другое дело за краем сипа – здесь в чистом виде измерялось опускание поднятой вверх холодной и тяжелой воды.

Выделение газов на обширных пространствах влияет на гидрологическую структуру моря. Поднимаясь вверх газы вовлекают в вертикальное движение придонные воды, которые охлаждают приповерхностные и размывают термоклин (рис. 2б), что в свою очередь оказывает влияние на гидрофизические процессы происходящие в верхнем слое моря.

Работа выполнена в рамках Госзадания (тема № 0128-2021-0004).

ЛИТЕРАТУРА

1. Амбросимов А.К., Ковалев Г.А. Гидрология и течения Карского моря в весенне-летний период 2019 г. (43-й рейс НИС «Академик Николай Страхов») // М., Экологические системы и приборы. 2020, №1, С. 49-54.
2. Савельева Н.И., Семилетов И.П., Пипко И.И. Влияние синоптических процессов и речного стока на термохалинную структуру вод прибрежных зоны Восточно-Сибирского моря // Метеорология и гидрология, 2008, №4, С. 63-72.

УДК 550.3

ПРАКТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ СУБАКВАЛЬНЫХ ГЕООПАСНОСТЕЙ

Миронюк С.Г.¹, Росляков А.Г.²

¹ *Центр анализа сейсмических данных МГУ имени М. В. Ломоносова, ул. Ленинские Горы, 1, стр. 77, 119992, г. Москва, +7 (495) 930-85-52, mironyuksg@gmail.com*

² *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, геологический факультет, ул. Ленинские Горы, 1, 119991, г. Москва, +7 (495) 939-2970, arosl@rambler.ru*

PRACTICE OF USING HIGH-RESOLUTION SEISMIC FOR IDENTIFICATION AND LOCALIZATION OF SUBAQUEAL GEOHAZARDS

Mironyuk S. G.¹, Roslyakov A.G.²

¹*Lomonosov Moscow State University, Seismic Data Analysis Centre, st. Leninskie Gory, 1-77, 119992*

²*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology, st. Leninskie Gory, 1, 119991*

В публикации представлен опыт применения сейсморазведки высокого разрешения для выявления и локализации ряда субаквальных геопасностей. На примере изысканий для строительства подводного газопровода в Черном море показаны возможности использования 2D сейсморазведки для решения задач инженерной геологии.

The article presents the experience of high-resolution seismic exploration in order to identify and localize a number of subaqueous geohazards. On the example of surveys for the construction of an offshore gas pipeline in the Black Sea, the possibilities of using 2D seismic survey for solving problems of geotechnical engineering are shown.

2D сейсморазведка высокого разрешения успешно выполняется для решения ряда задач инженерно-геологических изысканий и, в частности, для выявления и локализации геологических опасностей (геопасностей) в интервале глубин до 1 км ниже дна [1-3].

В период 2010-2013 гг. в рамках комплексных инженерных изысканий для строительства морского участка транснационального газопровода (российский сектор Черного моря) на одной из площадок, расположенной пределах внешней подзоны шельфа, континентального склона и его подножья (глубина моря 54-1900 м) (рис. 1), выполнена 2D сейсморазведка с целью обнаружения геопасностей, включая разрывные нарушения, грязевые вулканы, «газовые карманы», палеодолины, газовые гидраты и др. Общая площадь исследований составила около 900 км².

Работы выполнялись ООО «ПГС-Хазар» с применением специализированной системы сбора и регистрации сейсмической информации XZone DBS «Bottom Fish HR» производства компании «SI Technology» (Россия) и высокочастотных пневматических источников упругого сигнала BOLT 2800 LLX HR (USA). Съемка осуществлялась, в

основном, по сетке профилей 2 км x 1 км.

Из обширного перечня морских геоопасностей на исследованной площади рассматриваемым методом выявлены мелкие разрывные нарушения, выходы коренных пород, крутые (до 36° и более) обвало- и оползнеопасные участки континентального склона и «газовые карманы» в пределах подножья склона. Были получены также новые данные о морфологии и геологическом строении 30-ти километрового отрезка глубоководного канала, являющегося продолжением на континентальном подножии «Анапского каньона» и поля осадочных волн, развитых на внешнем склоне правого намывного вала этого канала.

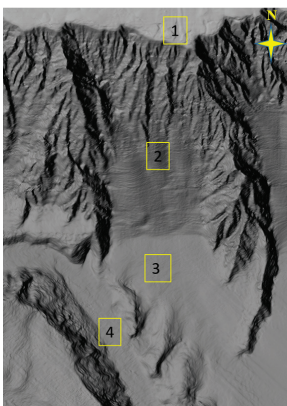


Рис. 1. Карта поверхности морского дна изученного района Цифры на карте: 1-шельф; 2-континентальный склон; 3-подножье; 4- «Анапский каньон».

Наиболее характерной чертой морфологии канала на изученном участке является изменение поперечного профиля русла канала, V-образное поперечное сечение русла постепенно переходит в U-образную оформленную долину. Общее ее направление с СЗ на ЮВ. Ширина русла на участке исследований варьируется от 1470 до 3360 м. Правый намывной вал возвышается над руслом на 280 м, тогда как левый борт имеет высоту не более 180 м, а углы наклона бортов вреза достигают 10° - 15° . Средний уклон дна «Анапского каньона» $-0,6^\circ$ - $2,0^\circ$. Наблюдается закономерное уменьшение их высот в ЮВ направлении, что обусловлено ослаблением эрозионной деятельности турбидитовых потоков. Определенная на основе анализа сейсмических временных разрезов мощность осадочного выполнения палеорусла колеблется от 85

до 180 м и также уменьшается в указанном направлении. На дне долины в ряде мест зафиксированы оползневые тела мощностью 28-36 м и длиной 350-500 м. На участке резкого поворота долины на СВ (меандрирования), как видно на рис. 2, ЮЗ склон конуса выноса осложнен обширным полем осадочных волн, образованных в результате многократно повторяющихся выплесков материала турбидитовых потоков, быстро движущихся вниз по руслу [3,4].

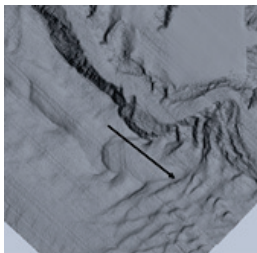


Рис. 2. Поле осадочных волн в пределах позднеплейстоценового конуса выноса (стрелка).

Поле осадочных волн на участке исследований прослеживается на протяжении 16 км к Ю от долины, высота осадочных волн при этом уменьшается с 65 до 10 м, а мощность, предположительно, позднеплейстоцен-голоценовой толщи турбидитов с 175 до 50 м.

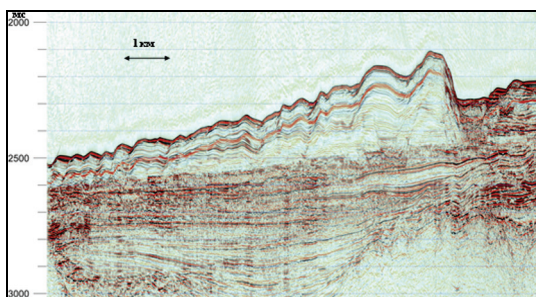


Рис. 3. Осадочные волны на поверхности позднеплейстоценового конуса выноса.

В настоящее время рост осадочных волн прекратился, и они не представляют опасности для подводных сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исмагилов Д.Ф., Козлов В.Н., Подшувейт В.Б., Терехов А.А., Хортов А.В. Опыт высокоразрешающей сейсморазведки (ВРС) на акваториях южных морей Российской Федерации// Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. -2005. -№ 11. -С. 40-45.
2. Миронюк С. Г. Локализация приповерхностных зон скопления газа (газовых карманов и труб) геофизическими методами и оценка их опасности для морских сооружений //ТЭК. Безопасность. -2013. №2. -С. 74-79.
3. Tokarev M.J., Roslyakov A.G., Terehina Y.E. Geophysical Approach to the Geohazard Classification in Marine Engineering and Geological Surveys// Marine Technologies 2019, Gelendzhik, 22-26 April 2019.-P.252-259. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201901826>
4. Flood R.D., Giosan L. Migration history of a fine-grained abyssal sediment wave on the Bahama Outer Ridge//Marine Geology. - 2002. -Vol. 192. -№. 1-3,- P. 259-273.
5. Росляков А.Г., Сорокин В.М., Калинин В.В. Об осадочных волнах на западном склоне среднего Каспия. Вестн. Моск. ун-та, Сер.4. Геология. - 2009. -№1. С. 47 - 53.

УДК: 550.34

ПОМЕХИ ОТ ПРИДОННЫХ ТЕЧЕНИЙ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА МОРСКОМ ДНЕ

Левченко Д. Г.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01
levch35@mail.ru*

BOTTOM CURRENTS NOISES DURING THE SEISMIC SIGNALS REGISTRATION ON THE SEABED

Levchenko D. G.

*Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences,
36, Nahimovskiy prospekt, Moscow, Russia, 117997*

Рассматривается ряд механизмов возбуждения помех от придонных течений при регистрации сейсмических сигналов на дне. Описываются результаты экспериментальных работ, приводятся рекомендации, позволяющие существенно снизить влияние подобных помех.

A number of mechanisms for the generation of noises from bottom currents when recording seismic signals at the bottom are considered. The results of experimental work are described, recommendations are given that can significantly reduce the effect of such disturbances.

При регистрации сейсмических сигналов на дне акваторий в большинстве случаев наблюдаются существенные помехи, источниками которых являются придонные течения, однако до настоящего времени механизмы их возбуждения мало изучены и не разработаны действенные методы борьбы с ними. Это связано со сложностью теоретического описания наблюдаемых явлений, сложностью проведения экспериментальных работ на дне, и с недостаточным исследованием самих придонных течений [1],

В работе рассматривается ряд механизмов возбуждения подобных помех: за счет изменчивости течений, вследствие появления вихрей вокруг частей сейсмостанции или неровностей дна, из-за генерации гидроакустических полей при вихревом и турбулентном движении.

Придонные течения в морях и океанах формируются совместным действием многих факторов и отличаются большим разнообразием. Основные возбуждающие силы: вращение Земли, приливы, перепады атмосферного давления, ветер, поверхностные и внутренние гравитационные волны, пространственные вариации плотности и температуры воды, взвешенные осадки. Редкие по времени, но важные для сейсмологии придонные течения могут возбуждаться морскими землетрясениями или волнами цунами [2, 3].

Скорость придонных течений с приближением ко дну уменьшается примерно по логарифмическому закону, поэтому элементы донных станций стараются размещать поближе к дну, зарывать в ил или помещать в донные скважины. Однако, как показывает практика, эти меры не являются достаточными, поскольку по эксплуатационным требованиям часть оборудования должна размещаться на поверхности дна: сменные блоки питания и памяти, устройства постановки и всплытия и др. Существенное влияние на возбуждение помех от течений оказывает рельеф дна. На рис. 1

приведены эскизы, показывающие воздействие течений при различном размещении донных сейсмографов.

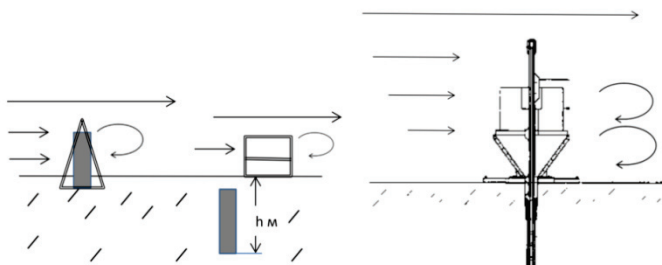


Рис. 1. Варианты размещения сейсмографов на дне и воздействие придонных течений

Практически установлено, что помехи при регистрации сейсмических сигналов на дне, возникают начиная со скорости течений около 0,01 м/с, а при скоростях более 0,5 м/с становится зашумленной большая часть динамического диапазона. Элементы донных сейсмографов в первом приближении можно представить в виде совокупности сфер и длинных цилиндров с характерными размерами от 0,01 м (кабели и тросы) до 1 м (приборные корпуса). Установочная воронка в устье донной скважины имеет размеры около 5 м в диаметре и по высоте. Соответствующие числа Рейнольдса при этом изменяются от 10^{-4} до 10^4 . В таблице приведены виды помех от придонных течений в зависимости от чисел Рейнольдса.

Таблица. Возбуждение помех придонными течениями

Re	0 - 20	20 - 200	200 – 2000	> 2000
Течение за телом:	Ламинарное	Вихревое		Турбулентное
Пульсации:	Нет	Стационарные	Нестационарные	
Акустическое поле:	нет	нет	Периодическое	Хаотическое

Современные широкополосные сейсмографы регистрируют сейсмические сигналы в номинальном частотном диапазоне от 0,01 до 20 Гц при предельном пороге чувствительности до 10^{-9} м/с. Однако частотный диапазон воздействия помех на сейсмографы значительно шире, примерно от 0,001 Гц до 50 Гц.

В качестве примера рассмотрим результаты масштабного сейсмологического эксперимента, который был проведен в 1998 году в Тихом океане в районе Гавайских островов группой сейсмологических организаций США [4]. Сейсмографы размещались на поверхности дна, в толще осадков, в глубокой донной скважине и на острове Кипапе. (на расстоянии около 200 км). На рис. 2. представлены характерные спектры шумов (вертикальные составляющие), зарегистрированных одновременно этими сейсмографами в один из дней эксперимента.

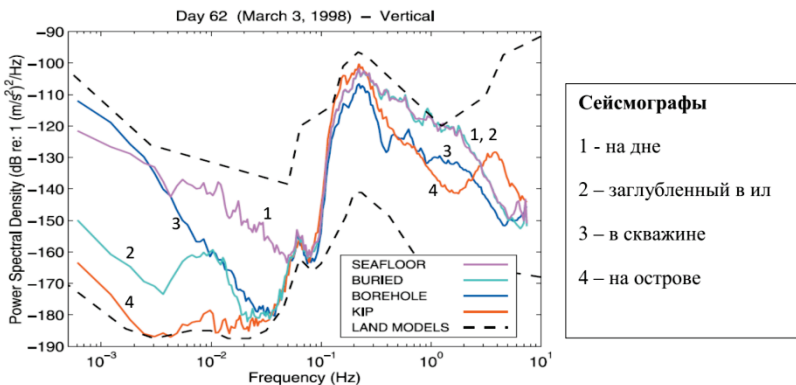


Рис. 2. Спектры шумов, зарегистрированных сейсмографами на дне, в слое осадков, в донной скважине и на суше (острове).

На рис. 2 на частотах выше максимума 0,2 Гц уровень шумов скважинного и островного сейсмографов в общем несколько ниже по сравнению с двумя другими. На частотах ниже 0,1 Гц в районе спектрального минимума микросейсм максимальный шум наблюдается для донного сейсмографа до частоты 0,003 Гц. Далее в сторону низких частот преобладает шум в скважинном сейсмографе, который намного выше чем для островного и заглубленного в ил – в среднем на 50 дБ и 40 дБ соответственно.

Разработчики скважинных сейсмографов полагают, что повышенный уровень инфранизкочастотных шумов для этих приборов вызван плохим креплением сейсмографа в скважине (Installation noise) [4]. По нашему мнению, проблема состоит в возбуждении этой помехи придонными течениями, генерирующими сейсмоакустические поля в воде и донном массиве из-за большой установочной воронки в устье скважины высотой и диаметром около 5 м и блока регистрации и

питания сейсмографа. Эти элементы всегда присутствуют при скважинных сейсмологических экспериментах.

Для уменьшения помех необходимо выбирать места постановки донных сейсмографов с возможно более гладким рельефом и умеренной скоростью течений. Блок сейсмоприемников следует заглублять в дно. Возбуждение акустических помех придонными течениями происходит в компактной области непосредственно за обтекаемым телом. Размеры этой области много меньше длин возбуждаемых волн, поэтому происходит быстрое затухание помех с расстоянием. Отсюда следуют основные методы борьбы с такими помехами – уменьшения вероятности возникновения вихрей и турбулентности конструктивным путем и вынос блока сейсмоприемников на значительное расстояние от источников помех.

Работа выполнена в рамках Госзадания № 0128-2021-0004

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Левченко Д.Г. Особенности конструирования широкополосных донных сейсмографов// Океанология. 2001. Т.41. № 4. С. 613 - 626.
2. Шулейкин В. В. Физика моря. - М., 1968. - 420 с.
3. Самолюбов Б.И. Придонные стратифицированные течения. М.: Научный мир, 1999. 463 с.
4. R. A. Stephen, F. N. Spiess, J. A. Collins, et al. Ocean Seismic Network Pilot Experiment. GGG, 2003. V. 4. N.10/31. P. 1-38. DOI:10.1029/2002GC000485

УДК 551.46.007

ТЕХНОЛОГИЯ ГЕОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ОСАДОЧНОГО ПОКРОВА ДНА ШЕЛЬФА ПОЛУОСТРОВА КРЫМ

Лесин А.В., Анисимов И.М., Тронза С.Н.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36,
117997, г. Москва, 8246wasd@gmail.com*

CRIMEA SHELF MODERN SEDIMENTARY COVER STRUCTURE GEO-ACOUSTIC INVESTIGATIONS TECHNOLOGY

Lesin A.V., Anisimov I.M., Tronsa S.N.

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospekt, Moscow, 117997*

В статье приводится сравнительный анализ характеристик акустической и сейсмоакустической систем зондирования для исследований морфологии рельефа дна и структуры осадочного покрова шельфа полуострова Крым.

The article presents a comparative analysis of the characteristics of acoustic and seismoacoustic sounding systems for geoacoustic studying of the bottom relief morphology and sedimentary cover structure of the Crimean Peninsula shelf.

Для полного понимания современного строения континентальной окраины требуются данные о структуре слоев осадочных пород и коренного фундамента [1]. Для получения таких данных широко применяются методы акустического профилирования и сейсмоакустического зондирования. Особенности работы с акустической аппаратурой заключаются в соблюдении баланса между глубиной проникновения зондирующего сигнала в осадочную толщу и разрешающей способностью получаемого отраженного сигнала. Для удовлетворения обоих этих требований необходимо использование методов исследований в нескольких диапазонах частот акустических волн: звуковых и сейсмических. Обширные задачи, стоящие перед специалистами, исследующими геологическую историю полуострова Крым, вызвали необходимость развить геоакустический аппаратный комплекс для получения данных об осадочной толще на шельфе региона [2].

Акустический профилограф (АП). АП предназначен для акустического зондирования верхней толщи осадочных отложений с помощью акустических зондирующих импульсов с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ). Внешний вид АП приведен на рисунке 1.

Принцип действия АП основан на проникновении мощных звуковых импульсов в донный грунт и формировании эхо-сигналов от границ раздела слоев осадков, различающихся по физическим

свойствам. Измерения производятся на ходу судна. Отображение получаемой АП информации в реальном времени ведется на регистраторе (мониторе ПЭВМ) со строчной разверткой. Яркость строки пропорциональна амплитуде эхо-сигнала. Зондирующий акустический импульс в направлении дна излучает передающая антенна, установленная на буксируемом носителе.



Рис. 1 Буксируемое тело акустического профилографа

Приемная антенна преобразует акустический эхо-сигнал в электрический. Далее судовой блок осуществляет обработку принятого сигнала и передает данные в ПЭВМ. Зондирующий импульс излучается периодически, несколько раз в секунду, и таким образом при движении судна на экране ПЭВМ от строки к строке формируется изображение профиля осадочных отложений.

Технические характеристики:

- несущая частота зондирующего импульса - 5 кГц;
- девиация частоты ЛЧМ сигнала – настраиваемая от 0 до 4кГц;
- длительность импульса – настраиваемая от 1 до 9мс;
- амплитуда зондирующего импульса - 500 В;
- пиковая электрическая мощность зондирующего импульса - 4.1 кВт.
- максимальная глубина погружения - 100 м;
- максимальная скорость буксировки - 4 узла;
- масса: 67.2 кг;

- тип преобразователей антенн - пьезокерамический кольцевые секционированные, с конусными отражателями

Сейсмоакустический профилограф (САП). Профилограф САП – «спаркер» предназначен для получения геоакустической информации о строении осадочной толщи при геолого-геофизических исследованиях на акваториях. Приемно-передающая аппаратура на борту судна периодически запускает электроискровой источник зондирующих сигналов. В отличие от АП в САП для приема эхосигналов используется приемная буксируемая коса (гидрофон), которая принимает эхо сигналы, отраженные от дна и ниже лежащих осадочных слоев, преобразует их в электрические и передает их на вход приемного усилителя и регистратора данных на борту судна (рис. 2).

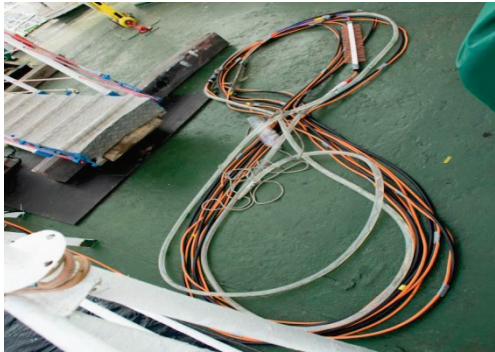


Рис. 2 Гидрофонная антенна с многоэлектродным излучателем МСИ-60.

Сейсмоакустические сигналы проникают в осадочную толщу на глубину, определяемую мощностью конкретного излучателя. Отражающие границы появляются там, где имеется резкое изменение плотности в разрезе донных отложений. На этом явлении основан метод отраженных волн (МОВ). Трасса – это результат одного излучения и приема отражения ряда волн от осадочной толщи на дне акватории. Длина развертки по времени меньше периода запуска излучателя. На экране монитора трассы поочередно справа-налево набираются в пакет с периодом запуска излучателя и образуют оси синфазности, из которых получается в итоге изображение разреза донных отложений по глубине во временных координатах. Сейсмический диапазон частот 20 – 1000 Гц, акустический диапазон частот - сигналы выше 1 кГц.

После выполнения пробной записи профилирования, были приняты следующие параметры регистрации для глубин места не более 200 метров:

- мощность излучателя не более 600 Дж при $C = 50$ Мкф;
- диапазон частот 60 – 1200 Гц;
- период излучения 1 с;
- усиление $20 \times 100 = 2000$;
- время регистрации $100 \text{ мкс} \times 3000 = 600 \text{ мс}$;
- скорость судна не более 8 узлов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0128-2021-0010) при поддержке РФФИ (проекты № 20-05-00384 «А» и № 18-05-60070 «Арктика»).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Римский-Корсаков Н. А., Пронин А. А., Анисимов И. М. Технология геолого-геоморфологических инструментальных исследований на западном шельфе полуострова Крым / Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2020. – №. 6. – С. 33-39.
2. Римский-Корсаков Н. А. Пронин, А. А., Анисимов, И. М., Белевитнев, Я. И., Мутовкин, А. Д. Использование новейших технологий в исследовании осадочной толщи и рельефа дна шельфа западного Крыма / Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2019). – 2019. – С. 183-188.

УДК 551.46.079

СУДОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ШЕЛЬФЕ ПОЛУОСТРОВА КРЫМ

Лесин А.В., Анисимов И.М.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36,
117997, г. Москва, 8246wasd@gmail.com*

**SHIP EQUIPMENT SUPPORT OF THE BOTTOM TOPOGRAPHY
RESEARCH AT THE CRIMEAN SHELF**

Lesin A.V., Anisimov I.M.

В статье рассмотрена технология судового обеспечения исследований морфологии рельефа дна шельфа полуострова Крым.

The article provides a list of equipment for geomorphological research on the shelf of the Crimean Peninsula.

Для получения профилей рельефа дна вдоль маршрута движения судна при исследованиях морфологии рельефа дна и структуры донных отложений на шельфе полуострова Крым в 2020 году в 115-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» был использован штатный судовой навигационный эхолот FURUNO-FCV-2100L (Рис. 1). Постоянный попутный промер глубин эхолотом необходим для получения оперативной информации о глубинах в различных частях акватории, что позволяет планировать исследования и делать предварительные выводы о строении дна.

Любые морские исследования имеют смысл, если получаемые при их выполнении данные обеспечены координатно-временной привязкой. В настоящее время привязка местоположения надводных плавсредств осуществляется исключительно с использованием космических навигационных систем (КНС). В отдельных случаях на стесненных фарватерах и внутренних водоемах для проводки судов используются системы створных знаков.



Рисунок 1. Внешний вид судового электронного блока (справа сзади) и устройства отображения и регистрации данных (по центру) судового эхолота «FURUNO-FCV-1200L».

На НИС «Профессор Водяницкий» в качестве судового приемника (СП) КНС используются две дублирующие друг друга навигационные системы:

- FURUNO GPS Navigator GP-80;
- KODEN GPS/ГЛОНАСС навигатор KGP-925.

Судовые блоки КНС установлены на капитанском мостике НИС. Приемные антенны КНС установлены на специальных мачтах на пеленгаторной палубе над капитанским мостиком.

Внешний вид судовых электронных блоков КНС представлен на рисунке 2(а,б). На рисунке 2(в). представлены приемные антенны систем КНС, установленные на пеленгаторной палубе НИС «Профессор Водяницкий». Внешний вид судовой ЭВМ, служащей в качестве репитера навигационных данных, представлен на рисунке 2(г)

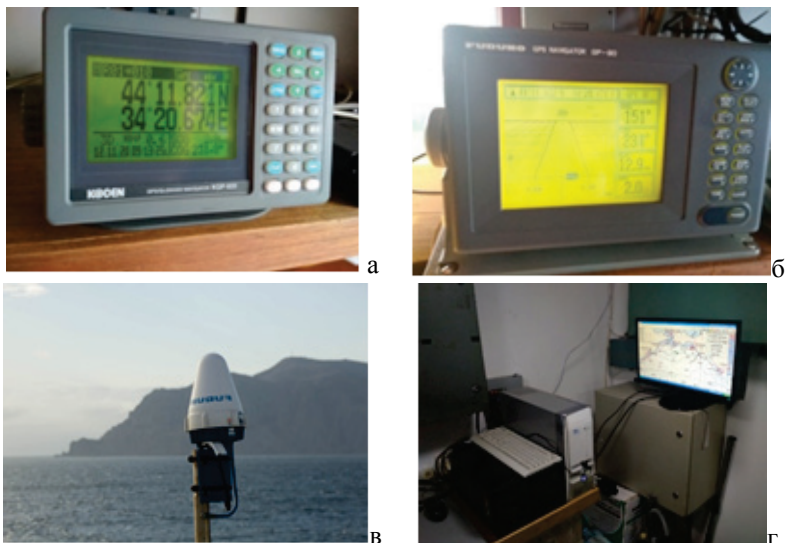


Рис. 2. а) Управляющий электронный блок приемника КНС «KODEN GPS/ГЛОНАСС навигатор KGP-925». б) управляющий электронный блок приемника КНС «FURUNO GPS Navigator GP-80». в) приемные антенны космической навигационной системы «FURUNO GPS Navigator GP-80» г) судовой ПЭВМ для сбора навигационных данных с судовой КНС НИС «Профессор Водяницкий».

Для выполнения забортовых геофизических работ в 115 рейсе НИС «Профессор Водяницкий» было использовано следующее оборудование:

- кормовая траловая лебедка со стальным тросом диаметром 5мм (рис. 3а);
- кормовая П-рама с подвешенным на ней канифас-блоком (Рис. 3б);
- специальный выстрел с системой оттяжек.

Кормовая траловая лебедка и П-рама использовались для спуска-подъема и буксировки носителя антенн акустического профилографа АП-5Т, который использовался также с приемо-излучающим блоком «Chirp II».

Для буксировки приемной косы-гидрофона при выполнении сейсмоакустического профилирования с использованием электроискрового излучателя был изготовлен специальный бортовой выстрел из стальной трубы диаметром 60мм и длиной 6 метров (Рис. 4).

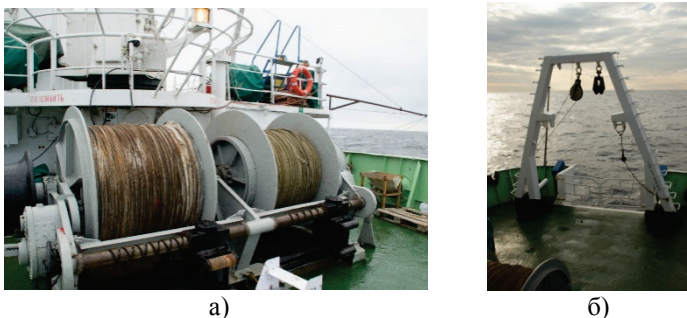


Рис. 3. Спуско-подъемное и буксировочное оборудование на корме НИС «Профессор Водяницкий»: а – траловая лебедка (для буксировки носителя антенн акустического профилографа использовался левый барабан); б - П-рама.



Рис. 4. Специальный выстрел для буксировки излучателя и приемной антенны сейсмоакустического профилографа.

Для установки трубы за бортом в горизонтальном положении, а также для запуска сейсмической косы была использована система оттяжек. При ослаблении оттяжки с одной стороны, другая - позволяла зафиксировать выстрел над палубой в нерабочем положении для безопасности палубных работ экипажа и маневрирования судна.

Рассмотренные технологии позволили эффективно обеспечить выполнение актуальных инструментальных геолого-геоморфологических и геофизических исследований на шельфе полуострова Крым.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0128-2021-0010) при поддержке РФФИ (проекты № 20-05-00384 «А» и № 18-05-60070 «Арктика»).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Римский-Корсаков Н. А., Пронин А. А., Анисимов И. М. Технология геолого-геоморфологических инструментальных исследований на западном шельфе полуострова Крым / Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2020. – №. 6. – С. 33-39.

УДК 551.46.06

ОДНОЛУЧЕВОЕ ЭХОЛОТИРОВАНИЕ И АКУСТИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ ДОННОГО РЕЛЬЕФА НА ШЕЛЬФЕ ПОЛУОСТРОВА КРЫМ

Анисимов И.М., Лесин А.В., Пронин А.А., Мутовкин А.Д.

*Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН, Нахимовский пр., 36,
117997, г. Москва, 8(499)124-13-01, anisimov.im@ocean.ru*

ONE-BEAM SONAR SURVEYING AND ACOUSTIC PROFILING FOR SEABED RELIEF INVESTIGATIONS OF CRIMEA PENINSULA SHELF

Anisimov. I.M., Lesin A.V., Pronin A.A., Mutovkin A.D.

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospekt, Moscow, 117997*

В докладе рассматривается метод акустического профилирования осадочной толщи при геоморфологических исследованиях полуострова Крым, с его дополнением эхолотным промером для уточнения истинной глубины рельефа в каждой точке съемки.

This paper proposes a method for acoustic profiling of sedimentary strata during geomorphological studies of the Crimean Peninsula, with its addition with echo sounding to clarify the true depth of the relief at each point of the survey.

Акустическое профилирование является мощным инструментом для подводных геоморфологических исследований [1]. С 2017 года Институт океанологии проводит экспедиции на шельфе полуострова Крым для изучения верхнего слоя рыхлых осадочных отложений для эффективного изучения морфологии рельефа поверхности дна [2]. Основным инструментом получения данных в 2020-м году являлся акустический профилограф с буксируемой гидрофонной приемной антенной и формирователем зондирующего импульса.

Заглубление гидрофонной антенны под поверхность воды во время буксировки зависит от таких факторов, как скорость судноносителя, точка подвеса гидрофонной антенны и стабильность курса следования судна. В связи с этим для адекватного анализа полученных данных о структуре донных осадков требуется знать истинную глубину в каждой точке по маршруту акустической съемки. Для получения профилей дна на шельфе полуострова Крым в 115-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» в 2020 г. был использован судовой навигационный эхолот FURUNO-FCV-2100L. Запись данных эхолота включается при выходе судна на курс очередного галса и наборе скорости выше 2-х узлов. По возможности судно движется по прямой траектории, что облегчает дальнейшую трактовку данных о донном рельефе. В полученные данные глубины вводится поправка, соответствующая величине заглубления излучателя под поверхность воды (для судового эхолота она равна 4.5 м).

Исследования с помощью эхолотного промера мохватывают большой диапазон глубин, что позволяет помещать полученные акустические профили донных осадков в контекст более масштабной съемки донного рельефа. На рисунке 1-а изображен профиль осадочной толщи, полученный в ходе съемки возле Керченского пролива. Видно, что, начиная с глубины 250 м, изображение становится достаточно нечетким ввиду широкой диаграммы направленности принимающей гидрофонной антенны. На рисунке 1-б изображен эхолотный профиль,

полученный одновременно с акустическим профилированием, на котором можно проследить четкую линию дна, и тем самым дополнить информативность профиля осадочной толщи.

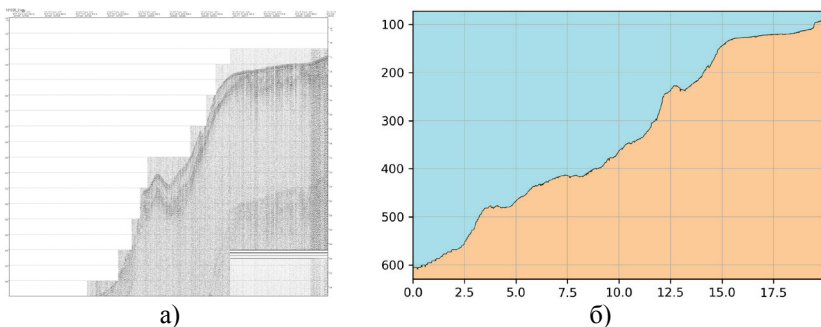


Рис. 1. Профиль осадочной толщи (а) и донного рельефа (б), полученный с помощью геоакустического профилографа и судового эхолота соответственно.

Таким образом, однолучевое эхолотирование является необходимым дополнением к другим акустическим исследованиям, позволяющим более адекватно интерпретировать полученные данные о строении осадочной толщи и донного рельефа.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0128-2021-0010, а также при поддержке РФФИ (проект № 18-05-60070 «Арктика», проект № 20-05-00384)

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Римский-Корсаков Н. А., Пронин А. А., Анисимов И. М. Технология геолого-геоморфологических инструментальных исследований на западном шельфе полуострова Крым / Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2020. – №. 6. – С. 33-39.
- 2 Римский-Корсаков Н. А. Пронин, А. А., Анисимов, И. М., Белевитнев, Я. И., Мутовкин, А. Д. Использование новейших технологий в исследовании осадочной толщи и рельефа дна шельфа западного Крыма / Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2019). – 2019. – С. 183-188.

О ДИАГНОСТИКЕ ГАЗОВЫХ ФАКЕЛОВ В МОРЕ МЕТОДОМ НЕЛИНЕЙНОГО АКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Буланов В.А., Соседко Е.В.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения РАН, Владивосток, 690041, ул.
Балтийская, д.43*

Тел.: +7(423)2374913; E-mail: bulanov@poi.dvo.ru, sosedko@poi.dvo.ru

ON THE DIAGNOSIS OF GAS FLARES IN THE SEA BY THE METHOD OF NONLINEAR ACOUSTIC SOUNDING

Bulanov V. A., Sosedko E. V.

*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the
Russian Academy of Sciences Vladivostok, 690041, Baltiiskaya St., 43*

Показано, что применение нелинейного нестационарного рассеяния на встречных пучках позволит проводить дистанционную спектроскопию пузырьков в подводных газовых факелах и проводить оценки газосодержания в факелах.

It is shown that the application of nonlinear nonstationary scattering on colliding beams will make it possible to conduct remote spectroscopy of bubbles in underwater gas flares and to estimate the gas content in flares.

Подводные газовые факелы (ГФ), образованные газовыми пузырьками, выходящими из дна моря, повсеместно встречаются в районах выброса газов как из толщи донных осадков, так и в районах выгрузки газа при таянии вечной мерзлоты в арктических морях [1-4]. Как правило, пузырьки, выходящие из дна моря, имеют размеры в интервале около 0.5 – 7 мм, при этом распределение $g(R)$ достаточно узкое с максимумом при R около 4-5 мм [1,2]. Стандартные акустические методы с применением линейного рассеяния звука с помощью судовых эхолотов позволяют обнаружить наличие ГФ в море, но не позволяет в полной мере оценить функцию распределения пузырьков по размерам и поэтому возникают неопределенности с оценкой мощности выброса газов из моря [3,4]. Пузырьки,

составляющие ГФ, имеют резонансные частоты около 600 Гц вблизи поверхности моря и около 6 кГц на глубине около 800 метров. Диагностика пузырьковых факелов происходит обычно на частотах от 12 кГц до 135-200 кГц, т.е. осуществляется при нерезонансном линейном рассеянии звука [3-5].

В настоящей работе предлагается применение метода нелинейного рассеяния звука на встречных пучках. Суть метода заключается в следующем. Рассмотрим двухчастотное рассеяние звука, когда на пузырек в жидкости падает акустический бигармонический импульс с давлением $P_a(t)$ вида:

$$P_a(t) = \text{Re}[(P_1 e^{-i\omega_1 t} + P_2 e^{-i\omega_2 t}) e^{-i\pi/2} (\theta(t) - \theta(t - \tau))], \quad (1)$$

где $\theta(t)$ – функция Хевисайда. Полагая радиус пузырька R малым по сравнению с длиной волны звука $R \ll \lambda$, а изменения радиуса малыми по сравнению с равновесным радиусом $R(t) = R_0(1 + z^{(1)} + z^{(2)})$, $|z^{(1)}| \ll 1$, $|z^{(2)}| \ll 1$, где $z^{(1)}(t)$ и $z^{(2)}(t)$ описывают пульсации включения в первом и втором приближениях, можно из уравнения Рэлея-Плессета найти выражения для $z^{(1)}(t)$ и $z^{(2)}(t) \equiv z_{\Omega}(t)$ [6]. При больших длительностях импульса $\tau > \tau_{\Omega} = 1/\Omega\delta_{\Omega}$, где $\Omega = \omega_1 - \omega_2$, δ_{Ω} – постоянная затухания пузырька на частоте Ω , получаем известное выражение для амплитуды пульсаций в установившемся режиме [6,7]

$$z_{\Omega}(t) = \frac{B_{\Omega}}{q_{\Omega}} \frac{P_1 P_2}{(3\gamma P_0)^2} e^{-i\Omega t}, \quad B_{\Omega} = \frac{[1 + \eta - \xi^2(3\gamma + 1)]\xi^4}{[\xi^2 - (1 + 2\eta) - i\delta](\xi^2 - 1 + i\delta)}, \quad (2)$$

где $\xi \approx \omega_0^2 / \omega_2^2$, $\eta = \Omega / \omega_2$, $q_{\Omega} = \xi^2 - \eta^2 - i\xi^2 \delta_{\Omega}$, $\omega_0 = (1/R)\sqrt{3\gamma P_0 / \rho}$, $\gamma \approx 1.4$ – постоянная адиабаты газа внутри пузырька, P_0 – гидростатическое давление. Существенно иной результат получается при малых длительностях импульса $\tau \ll \tau_{\Omega}$:

$$z_{\Omega}(t) \propto [(1 - ikR)(1 - e^{-\delta_{\Omega}\Omega t})] \approx [(1 - ikR)t / \tau_{\Omega}^2] \rightarrow 0, \quad (3)$$

что свидетельствует о малых амплитудах пульсаций пузырьков на разностной частоте Ω при малых τ .

Величину давления в волне разностной частоты, генерируемой при нелинейном рассеянии звука на пузырьке на расстоянии r можно определить в квадратичном приближении в виде $P_s^{(2)}(r, t) = (\rho R^3 / r) [\ddot{z}^{(2)} + 2z^{(1)}\dot{z}^{(1)} + 2(\dot{z}^{(1)})^2]$. Тогда сечение нелинейного рассеяния на одиночном пузырьке $\sigma_{1\Omega}(R)$ можно определить из формулы $\sigma_{\Omega}^{(2)}(R) = r^2 \left\langle |P_s^{(2)}|^2 / |P_i|^2 \right\rangle$, где $\langle \dots \rangle$ - означает усреднение по времени. При рассеянии на совокупности пузырьков с функцией $g(R)$

сечение нелинейного рассеяния звука единицей объема жидкости или коэффициент нелинейного рассеяния, $\sigma_{\Omega}^{(2)} \equiv m_{V\Omega}^{(2)} = \int \sigma_{1\Omega}^{(2)}(R)g(R)dR$, имеет вид [6,7]

$$m_{V\Omega}^{(2)} = m_{V\Omega\omega}^{(2)} + m_{V\Omega\Omega\infty}^{(2)}F(\tau/\tau_{\Omega}), \quad (4)$$

$$m_{V\Omega\omega}^{(2)} = (\pi^2/18\delta_{\Omega})\left[(3\gamma+2)^2/(\delta_{\omega}^2+\eta^2)\right](\Omega/\omega)^4 R_{\omega}^3 g(R_{\omega})|KP_1|^2, \quad (5)$$

$$m_{V\Omega\Omega\infty}^{(2)} = (\pi^2/36\delta_{\Omega})(\Omega/\omega)^4 R_{\Omega}^3 g(R_{\Omega})|KP_1|^2, \quad (6)$$

где функция, определяющая переходные процессы, равна $F(x) = (x + e^{-x} - 1)/x$, сжимаемость пузырька K при больших размерах $K \approx 1/(\gamma P_0)$. Видно, что на длинных импульсах

$m_{V\Omega}^{(2)} = m_{V\Omega\omega}^{(2)} + m_{V\Omega\Omega\infty}^{(2)}$, а на коротких импульсах $m_{V\Omega}^{(2)} \approx m_{V\Omega\omega}^{(2)}$:

$$m_{V\Omega}^{(2)} = \begin{cases} m_{V\Omega\omega}^{(2)} + m_{V\Omega\Omega\infty}^{(2)}, & \tau \gg \tau_{\Omega} \\ m_{V\Omega\omega}^{(2)}, & \tau \ll \tau_{\Omega} \end{cases}. \quad (7)$$

Результат существенно зависит от вида функции распределения $g(R)$. Функция распределения $g(R)$ может быть определена в виде

$$g(R_{\Omega}) = \frac{4\delta_{\Omega}}{\pi^2} \frac{m_{V\Omega\infty}^{(2)} - m_{V\Omega 0}^{(2)}}{R_{\Omega}^3 (\Omega/\omega)^4} \frac{9}{|KP_1|^2}. \quad (8)$$

Метод нелинейного рассеяния звука на встречных пучках может быть использован для регистрации скопления пузырьков и измерения функции распределения пузырьков по размерам $g(R)$ вблизи дна моря. Следует применять акустическое излучение вертикально вниз с разнесением во времени зондирующих импульсов на задержку Δt , вариация которой позволит зондировать различные области газового факела. Дно моря используется для создания отраженного импульса длительности τ_1 с частотой ω_1 , который мог бы, как показано на рис.1, в заданном месте относительно этой поверхности взаимодействовать с прямым импульсом длительности τ_2 с частотой ω_2 , излучаемым через определенное время Δt . При $\Delta t = 0$ взаимодействие между прямым и отраженным импульсами осуществляется на расстояниях от дна моря с $z_{\min} = c\tau_1/2$ до $z_{\max} = c\tau_2/2$. При $\Delta t \neq 0$ величина z_{\min} изменяется и равна $z_{\min} = c(\Delta t + \tau_1)/2$. Таким образом, можно исследовать нелинейное взаимодействие на различных глубинах. Частоту звука в зондирующих импульсах следует подбирать так, чтобы разностная частота, генерируемая на пузырьках, соответствовала их резонансным размерам в газовом факеле. Важно также, чтобы частота накачки не перекрывалась с резонансными частотами пузырьков в факеле.

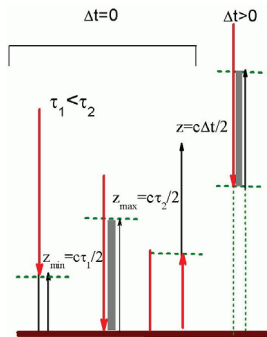


Рис.1. Схема рассеяния звука вблизи дна моря на встречных пучках

Работа выполнялась в рамках госзадания №0271-2019-0009 при поддержке проектов №17-02-00561 РФФИ и №18-I-004 программы ДВО РАН "Дальний Восток".

ЛИТЕРАТУРА

1. Judd A., Hovland M. Seabed fluid flow. The impact on geology, biology and the marine environment // Cambridge:Cambr. Univ. Press, 2007. 475 p.
2. Дмитриевский А.Н., Баланюк И.Е. Газогидраты морей и океанов. М.: ООО "ИРЦ Газпром". 2009. 416 с.
3. Муякшин С.И., Заутер Э. Дистанционный акустический метод определения производительности подводного источника газовых пузырьков //Океанология. 2010. Т. 50. No 6. С. 1045-1051.
4. А.С. Саломатин, В.И. Юсупов, О.Ф. Верещагина, Д. В. Черных. Акустическая оценка концентрации метана в областях пузырьковой разгрузки // Акустический журнал. 2014. Т. 60. No 6. С. 636-644
5. Буланов В.А., Корсков И.В., Попов П.Н. О рассеянии звука на газовых факелах на шельфе и в мелком море // Труды 16 сессии Российского акустического общества. т. 2. М.: ГЕОС, 2005, с. 226-230
6. V.A. Akulichev, V.A. Bulanov. Measurements of bubbles in sea water by nonstationary sound scattering // J. Acoust. Soc. Am. 2011. Vol.130, No5, pt.2, pp.3438-3449
7. В.А. Акуличев, В.А. Буланов. Акустические исследования мелкомасштабных неоднородностей в морской среде. – Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2017. – 414 с. <https://www.poi.dvo.ru/node/470>.

**АСПЕКТЫ ОЦИФРОВКИ БАТИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА ШЕЛЬФЕ
ПОЛУОСТРОВА КРЫМ**

Лискин В.А., Римский-Корсаков Н.А., Егоров А.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский
пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-3-1, nrk@ocean.ru*

**ASPECTS OF DIGITIZING BATHYMETRIC DATA DURING
GEOMORPHOLOGICAL RESEARCH ON THE SHELF OF THE CRIMEA
PENINSULA**

Liskin V.A., Rimsky-Korsakov N.A., Egorov A.V.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, 36,
Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997, Russia*

Представлено описание разработанной аппаратуры в составе подводного буксируемого донного комплекса, ведущего оцифровку батиметрических данных в придонной области акваторий, с целью автоматизированной привязки измеренных значений аномалий содержания метана в морских осадках, к местам их обнаружения.

The description of the developed equipment as part of an underwater towed bottom complex, which digitizes bathymetric data in the bottom area of the water areas, in order to automatically link the measured values of the anomalies of the methane content in marine sediments to the places of their detection.

В настоящее время актуальна необходимость разработки инструментальных средств нового поколения для исследований придонных процессов, в том числе, оцифровки батиметрических данных при геоморфологических исследованиях, в частности, проводимых на шельфе полуострова Крым. Представлено описание разрабатываемой аппаратуры в составе подводного буксируемого комплекса, ведущего оцифровку батиметрических данных в придонной области акваторий, с целью автоматизированной привязки измеренных значений аномалий содержания метана в морских осадках, к местам их обнаружения. Разработаны и созданы элементы подводной

исследовательской аппаратуры, функционирующей в составе подводного телеуправляемого донного комплекса. Выполнено макетирование и изготовление отдельных электронных блоков видеосистемы комплекса, системы освещения и управления видеомодуля, а также блока специализированной аппаратуры сбора гидрофизических данных, работающего в составе придонного комплекса [1]. Разработаны и отмакетированы донные камеры, с автоматическим устройством отбора проб воды для химических анализов, электронные узлы управления и сбора данных оптоволоконного датчика, для измерения содержания кислорода и датчика измерения теплового потока. Испытан механизм устройства разового отбора проб воды, донного грунта при геоморфологических исследованиях. Проведены промежуточные испытания блоков и устройств, модернизированной конструкции подводного телеуправляемого донного комплекса, отвечающего требованиям расширенных функциональных возможностей, (в том числе по возможности в перспективе изучения газовых гидратов), и обеспечения надежности и удобства эксплуатации. Новизна предложенных решений состоит в разработке системной концепции проведения работ по изучению придонных процессов (в том числе связанных с газовыми гидратами), с использованием подводных телеуправляемых донных комплексов. В основе концепции заложены теоретические модели механизмов вертикального переноса метано-содержащих флюидов, и оригинальные технические решения, по созданию блока специализированной аппаратуры оцифровки батиметрических данных, что значительно повышает точность количественных расчетов потоков химических элементов через морское дно [2]. Эти направления работ, в том числе оцифровка батиметрических данных при геоморфологических исследованиях, относятся к самым современным направлениям исследований придонных областей. Все это, стимулирует развитие новых технологий, которые могут быть использованы и для других задач, связанных с изучением Мирового океана. В частности, подводные телеуправляемые донные комплексы могут быть использованы при экологическом мониторинге акваторий.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (темы № 0128-2021-0010) при поддержке РФФИ (проекты № 20-05-00384 «А» и № 18-05-60070 «Арктика»)

ЛИТЕРАТУРА

1. Шрейдер Ал. А., Шрейдер А. А., Клюев М.С. Сажнева А.Э.,

Бреховских А.Л., Ольховский С.В., Захаров Е.В., Чижиков В.В., Евсенко Е.И., Ракитин И.Я., Гринберг О.В. Особенности технологии использования параметрических гидроакустических средств для поиска, идентификации и мониторинга объектов в придонном слое // Процессы в геосредах, 2018. № 2. С. 920–927.

2. Бабий В. И., Бабий М. В., Родионов А. А. Показатели качества измерений гидрофизических полей океана // Материалы XIV Международной научно-технической конференции «МСОИ-2015» – Т.1 «Современные методы и средства океанологических исследований», Москва, 2015. – С. 48-53.

УДК 551.46.09

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОКСОВОГО МЕТОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭКОЛОГИИ В КАРСКОМ МОРЕ В РАЙОНАХ ЗАХОРОНЕНИЙ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Лискин В.А., Егоров А.В., Римский-Корсаков Н.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36,
117997, г. Москва, 8(499)124-3-1, nrk@ocean.ru*

POSSIBILITIES OF USING THE BOXING METHOD TO ASSESS THE ECOLOGY STATE OF THE KARA SEA IN THE AREAS OF RADIOACTIVE WASTE DEPOSITS

Liskin V.A., Egorov A.V., Rimsky-Korsakov N.A.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, 36,
Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997, Russia*

Разработан комплекс технических средств, предназначенный для поиска и обследования морских акваторий, в районах захоронений радиоактивных отходов, а также для оценок интенсивности метановых потоков вещества, и других газообразных углеводородов из донных осадков.

A set of technical means has been developed, for the search and examination of sea areas, in the areas of radioactive waste burials, as well as for assessing the intensity of methane flows of matter and other gaseous hydrocarbons from bottom sediments.

Объектом исследований являются специальные гидролого-гидрохимические измерительные средства, использующие боксовые методы необходимые для оценки состояния экологии в Карском море в районах захоронений радиоактивных отходов. Разработан комплекс технических средств, предназначенный для поиска и обследования морских акваторий, в районах захоронений радиоактивных отходов, а также для оценок интенсивности потоков вещества, связанных с наличием, в том числе, газовых гидратов. Эти же технические средства могут быть использованы для исследований аномалий содержания метана в морских осадках. Разработан и включен в состав комплекса блок специализированной гидрохимической аппаратуры, выполняющий функции измерений интенсивности метановых потоков и других газообразных углеводородов из донных осадков. Разработаны микрокомпьютерные и схемотехнические средства, обеспечивающие управление и реализующие алгоритмы работы управляющего контроллера комплекса технических средств. Выполнена разработка и оснащение комплекса оборудованием, обеспечивающим безопасность операций постановки комплекса на дно и его снятия [1]. В результате, с помощью представляемого комплекса технических средств, стало возможным измерение величин восходящих со дна потоков веществ, причем независимо от формы вещества (растворенного или в виде пузырьков). Помимо потока метана, подводный телеуправляемый комплекс, позволяет проводить исследования потоков других химических соединений, таких как сульфаты или хлор, для чего комплекс снабжается геологическими пробоотборниками. Выполнены промежуточные испытания аппаратно-программных элементов комплекса. Прорабатываются необходимые средства, относящиеся к вспомогательному оборудованию, а именно подсистемы навигации, подводного позиционирования и гидролокационного поиска, а также гидроакустические и космические средства общесудового и специального назначения. Выполнено исследование методов и особенностей измерения гидрохимических параметров придонного слоя воды и донных осадков, для чего комплекс оборудуется соответствующими датчиками. Другой особенностью исследований является возможность получения характеристик придонных вод в автоматическом режиме, в течение продолжительного времени на достаточно больших глубинах. Для этих целей в состав комплекса включены приспособления для отбора проб воды и донных осадков, через интервалы времени, предусмотренные программой экспериментов [2]. В результате проведенных исследований и разработок созданы специальные технические средства, в том числе телеуправляемый

комплекс для обнаружения и исследования гидрохимических проявлений на морском дне, в том числе для оценок экологического состояния придонной среды.

«Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (темы № 0128-2021-0010) при поддержке РФФИ (проекты № 20-05-00384 «А» и № 18-05-60070 «Арктика»)».

ЛИТЕРАТУРА

1. Лискин В.А., Егоров А.В., Лежнин В.А. Подход к разработке и созданию модифицируемых донных станций // Материалы XIII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2013» – Т.2 «Современные методы и средства океанологических исследований» – Москва, 2013. – С. 288-289.
2. Смирнов Г.В., Аистов Е.А., Оленин А.Л. Многоканальный гидролого-оптико-химический комплекс // Материалы XII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2011» – Т.1 «Современные методы и средства океанологических исследований» – Москва, 2011. – С. 104-106.

УДК 551.46.007

КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОЛОГО ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В 115 РЕЙСЕ НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ» НА ШЕЛЬФЕ ПОЛУОСТРОВА КРЫМ.

Н.А.Римский-Корсаков¹, Н.В.Бурдиян², А.А.Пронин¹

¹*Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН, Нахимовский проспект
36, 117997, г. Москва, 8(499) 1247987, nrk@ocean.ru*

²*Институт биологии Южных морей им. А.О.Ковалевского РАН, г.
Севастополь, проспект Нахимова, +7 (8692) 54-41-10, д. 2 ibss@ibss-
ras.ru.*

**COMPLEX GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL RESEARCHES IN
THE 115 FLIGHT OF THE R / V «PROFESSOR VODYANITSKY» ON
THE SHELF OF THE CRIMEA PENINSULA.**

N.A. Rimsky-Korsakov¹, N.V. Burdiyan², A.A. Pronin¹

¹*Shirshov Institute of Oceanology RAS, 36 Nakhimovsky prospect, 117997, Moscow.*

²*Institute of Biology of the South Seas. A.O. Kovalevsky RAS, Sevastopol, Nakhimov Avenue.*

В докладе рассмотрены аспекты исследований морфологии рельефа и осадочного покрова дна внешнего шельфа полуострова Крым. Исследования выполнены в декабре 2020 года в 115 рейсе НИС «Профессор Водяницкий». Для исследований использовались сесмопрофилирующая система типа «спаркер», акустический пофилограф, буксируемый гидролокатор бокового обзора и судовой эхолот. Получены новые данные о строении морского дна преимущественного юго-западного шельфа полуострова Крым.

The report examines aspects of studies of the morphology of the relief and sedimentary cover of the bottom of the outer shelf of the Crimean Peninsula. The studies were carried out in December 2020 on cruise 115 of the R / V Professor Vodyanitsky. For the research, a seismic profiling system of the "sparker" type, an acoustic profiler, a towed side-scan sonar and a ship's echo sounder were used. New data have been obtained on the structure of the seabed of the predominant southwestern shelf of the Crimean Peninsula.

Основная цель исследований связана с необходимостью решения фундаментальной научной проблемы океанологии и морской геологии по изучению строения и истории формирования континентальной окраины, в частности, шельфа полуострова Крым [1].

В задачи исследования входит: эхолотный промер материковой отмели Крыма, гидроакустическое картирование дна и сейсмоакустическое зондирование шельфа, результаты которых позволят, в том числе восстановить положение древней речной сети и определить связи береговых и субаквальных морфоструктур.

На первом этапе исследований в 2020 году было запланировано проведение экспедиционных океанографических и геофизических работ на участке материковой отмели Южного Крыма от Балаклавы до мыса Меганом и составление палеогеоморфологической карты-схемы дна на участок материковой отмели Южного Крыма.

Полевые изыскания выполнялись в 115 рейсе НИС «Профессор Водяницкий» в период с 27 ноября по 17 декабря 2020 года (21 сутки). Маршрут экспедиции представлен на рисунке 1. На маршруте точками с номерами обозначены места станций. Вдоль маршрута велся геофизический эхолотный промер, сейсмоакустическое

профилирование и гидролокационная съемка. Галсы промера на маршруте помечены коричневым цветом. Общая протяженность маршрутов геофизической съемки 443 морские мили.

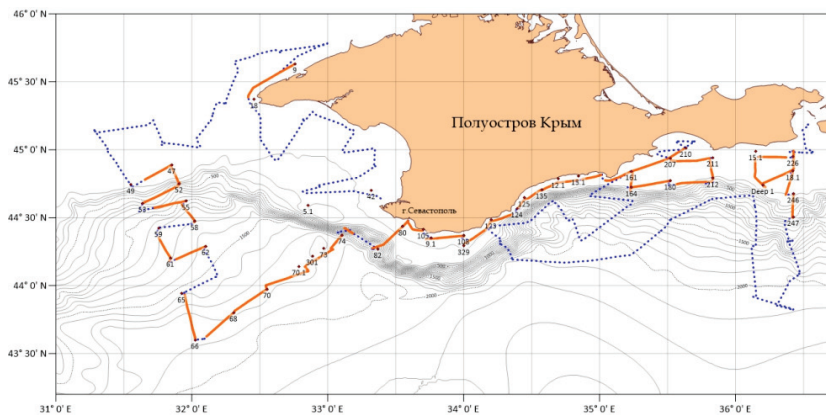


Рис.1. Маршрут экспедиции 115 рейса НИС «Профессор Водяницкий».

Надо отметить, что использование для исследований океанского судна с неограниченным районом плавания позволило вести работы на всем протяжении и простираии в глубину шельфа полуострова Крым при любом удалении от берега.

При выполнении полевых исследований был обеспечен уникальный диапазон характеристик технологий геофизической съемки начиная от нижней частоты диапазона сигналов зондирования сейсмопрофилографа типа «спаркер» 50 Гц и заканчивая рабочей частотой гидролокатора бокового обзора «ЙеллоуФинн» 400 кГц.

Для высокочастотного акустического профилирования впервые был применен новый прибор АП-5Т разработки ИО РАН, использующий частотно-модулированные сигналы с последующей их корреляционной обработкой.

Полученные данные батиметрического, сейсмогеологического, и геоморфологического картирования материковой отмели Крыма позволят повысить эффективность планирования инженерных изысканий, а также оценок воздействия на экологию шельфа процессов возведения техногенных объектов, таких как подводные части причальных сооружений, укреплений берега и заграждений, буровых и добычных морских платформ, дамб, подводных кабелей и продуктопроводов, траншей, карьеров, намывных массивов и пляжей.

Результаты исследований в виде статей и докладов, а впоследствии монографий будут востребованы специалистами в области морской и береговой геоморфологии, гидрологии и морфолитодинамике шельфа.

«Работа выполнена в рамках государственных заданий (темы № 0128-2021-0010, №121031500515-8 (0556-2021-0001)) при поддержке РФФИ (проект № 20-05-00384 «А»).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Н.А.Римский-Корсаков, В.Н.Коротаев, Мыслевец В.И., Поротов А.В., В.В.Иванов, А.А.Пронин Геоморфология и история развития Западного шельфа Крыма // Океанологические исследования, 2019, Том 47, № 4, с.161-176

УДК [552.5+556.5]

МИКРОКОМПОНЕНТЫ В МАКРОМАСШТАБАХ: ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МОРЯХ И ОКЕАНАХ МИКРОСКОПИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Рейхард Л.Е.¹, Козина Н.В.¹, Боев А.Г.¹, Дара О.М.¹, Рейхард А.Г.²

¹*Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Нахимовский пр., 36,
117997, г. Москва, 8(499)124-13-01, mollusc@mail.ru*

²*ГБПОУ Образовательный Комплекс «Юго-Запад», ул. Дмитрия
Ульянова, 26/1, 117036, г. Москва, 8(499)125-31-62, reykhard00@mail.ru*

MICRO-COMPONENTS AT MACRO-SCALE: FEATURES OF
STUDYING HETEROGENEOUS PROCESSES IN SEAS AND OCEANS
BY MICROSCOPIC METHODS

Reichard L.E.¹, Kozina N.V.¹, Boev A.G.¹, Dara O.M.¹, Reichard A.G.²

¹*Shirshov Institute of Oceanology. RAS, Nakhimovsky pr., 36, 117997,
Moscow*

²*GBPOU Educational Complex "South-West", st. Dmitry Ulyanov, 26/1,
117036, Moscow*

В данной работе авторы обобщают опыт комплексных микроскопических исследований различных природных объектов и процессов в морях и океанах и предлагают эффективный метод пошаговых микроскопических исследований.

In this research, the authors summarize the experience of complex microscopic studies of various natural objects and processes in the seas and oceans and propose an effective method for stepwise microscopic studies.

Результаты микроскопических исследований служат основой для понимания таких гетерогенных макромасштабных процессов, как седименто- и диагенез, биоминерализация, рудогенез в морях и океанах. Универсальными и хорошо зарекомендовавшими себя методами микроскопических исследований в науках о Земле являются оптическая микроскопия (ОМ) и сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) в сочетании с энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией (ЭДС). Такой аналитический комплекс позволяет максимально полно изучить морфологические, структурно-текстурные и минералого-геохимические характеристики микрокомпонентов, а также характер их распределения в природной среде. Совокупность этих данных создает надежную базу для генетических интерпретаций и обоснования выводов о влиянии тех или иных факторов на различные процессы в Мировом океане. В докладе представлено обобщение методических рекомендаций, выработанных авторами с учетом опыта применения комплексных микроскопических исследований при решении таких актуальных задач океанологии и морской геологии, как изучение процессов седименто- и диагенеза, ледообразования в Арктике, галогенеза в ультрагалинных водоемах, биоминерализации в морских бассейнах с экстремальными условиями, рудогенеза в морях и океанах [1].

С применением комплекса ОМ+СЭМ+ЭДС были исследованы снежно-ледяной покров и водная толща в приполюсном районе Северного Ледовитого океана (СЛО); донные отложения Белого, Карского, Черного, Каспийского морей; береговые отложения и водная толща Аральского моря; карбонатные конкреции из моря Лаптевых, железо-марганцевые конкреции (ЖМК) Тихого океана, Белого и Карского морей.

Выявлено, что микроскопические исследования микрокомпонетов из природных объектов с разными физико-химическими параметрами обладают своей методической спецификой. Их эффективность, включающая максимальную информативность и достоверность получаемых данных, зависит, в первую очередь, от правильного выбора методики опробования и пробоподготовки. Так, например, при изучении тонкодисперсных, полиструктурных, часто полиминеральных агрегатов, таких как конкреции разного состава, необходимо сразу предусмотреть пробоотбор материала на микроскопию и другие виды аналитических исследований из вещества одной конкреции (с учетом ее зональности) или, если это невозможно, из конкреций одного морфотипа, отобранных с одного горизонта. В противном случае, обобщение результатов, особенно при интерпретации данных по валовым пробам, может привести к недостоверным выводам о составе и генезисе конкреций.

Установлено, что для достижения максимальной эффективности, с учетом оптимизации временных и финансовых затрат, комплексные микроскопические исследования необходимо проводить поэтапно [1]. На начальном этапе частицы на фильтрах, полученные методом мембранной ультрафильтрации проб из водной толщи, расплавов снега и льда, а также образцы донных отложений/конкреций/корок необходимо изучать с применением стереомикроскопов. Далее, в зависимости от задачи, из вещества наиболее информативных зон рекомендуется изготавливать смерслайды, прозрачно-полированные шлифы, аншлифы. На следующем этапе при помощи микроскопов с функцией прямого, отраженного и поляризованного света необходимо изучать диагностические признаки частиц на фильтрах (цвет, габитус, вещественный состав), а также минеральный состав и структурно-текстурные характеристики донных осадков, конкреций и корок в шлифах и/или аншлифах. На заключительном этапе рекомендуется проводить прецизионные исследования избранных объектов с применением сканирующих электронных микроскопов, оснащенных системами ЭДС-анализа. Они включают в себя высокоразрешающую визуализацию микроструктур и текстур, измерение морфологических

параметров и идентификацию вещественного состава микрокомпонентов. Уточнение и дополнение полученных данных необходимо осуществлять методом рентгеновской дифракции, а в контексте решаемых задач – геохимическими и микробиологическими методами.

Данная поэтапная методика комплексных микроскопических исследований была эффективно реализована в проектах по изучению условий седиментации в Белом и Карском морях [2; 3]; аутигенного минералообразования в донных отложениях Белого и Карского морей, моря Лаптевых, Каспийского и Черного морей [2-6]; Fe-Mn конкрециеобразования в Белом и Карском морях, а также в Тихом океане [7-9]; процессов ледовой седиментации и ледообразования в приполюсном районе СЛО [10]; современного галогенеза в Аральском море [11]; биоминерализации в экстремальных условиях [8; 11-12].

Авторы выражают искреннюю благодарность Ключиткину А.А., Новигатскому А.Н., Кизякову А.И., Ижицкому А.С. за помощь в экспедиционных исследованиях; Писареву С.В., Леин А.Ю., Гордееву В.В., Новичковой Е.А., Кравчишиной М.Д., Беляеву Н.А., Коченковой А.И. – за плодотворное сотрудничество на всех этапах работы. Обобщение данных выполнено в рамках государственного задания ИО РАН (тема №0128-2021-0002). Исследования Каспийского и Черного морей проведены при поддержке РФФ (проект №19-77-00015).

ЛИТЕРАТУРА

1. Рейхард, Л. Е. Применение комплексных микроскопических исследований для решения актуальных задач океанологии и морской геологии / Л. Е. Рейхард, Н. В. Козина, О. М. Дара, А. Г. Боев, Е. А. Новичкова, Н. А. Шульга, А. Г. Рейхард // Труды IX Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2020)». -Т.III. (III). - 2020. - С. 91-94.
2. Новичкова, Е. А. Новые данные по истории развития Двинского залива Белого моря в голоцене / Е. А. Новичкова, Л. Е. Рейхард, А. П. Лисицын, А. Е. Рыбалко, А. де Вернал // Доклады Академии Наук. - 2017. - Т. 474. - №3. - С. 365-369.
3. Новичкова, Е. А. Изменение условий седиментации на севере Восточно-Новоземельского желоба в Антропоцене / Е. А. Новичкова, Л. Е. Рейхард, Н. А. Беляев, Р. А. Алиев, Д. П. Стародымова, Е. А. Кудрявцева // Океанология. - 2020. - Т.60. - №5. - С. 762-780.
4. Кравчишина, М. Д. Аутигенный Mg-кальцит на метановом полигоне в море Лаптевых / М. Д. Кравчишина, А. Ю. Леин, А. С.

- Саввичев, Л. Е. Рейхард, О. М. Дара, М. В. Флинт // *Океанология*. - 2017. - Т. 57. - №1. - С. 194-213.
5. Kozina, N. Framboidal pyrite formation in the bottom sediments of the south Caspian Basin under conditions of hydrogen sulfide contamination / N. Kozina, L. Reykhard, O. Dara, V. Gordeev // *Russian Journal of Earth Sciences*. - 2018. - Т. 18. - №6. - С. ES6003.
6. Reykhard, L. Authigenic barite in the bottom sediments of the seas and oceans: crystal morphology, composition, indicator properties / L. Reykhard, N. Kozina, O. Dara, N. Shulga // *Abstract Collection Book. 6th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium WMESS 2020. Prague (Czech Republic)*. - С. 161.
7. Рейхард, Л. Е. Диагенетическое минералообразование в современных донных осадках южной части Белого моря / Л. Е. Рейхард, А. Н. Новигатский, Т. Н. Алексеева, О. М. Дара, А. И. Коченкова, Н. С. Маторина // *Материалы международной научной конференции XII Съезд РМО, г. Санкт-Петербург, НМСУ «Горный»*. - 2015. - С. 52-55.
8. Reykhard, L. Biomineral indicators of hydrological, geological and climatic processes in the Arctic / L. Reykhard, N. Shulga, Ye. Novichkova, N. Kozina, O. Dara, P. Sapozhnikov, V. Gordeev, N. Belyaev, A. Boev // *Acta Cryst.* – 2018.- A74. - e250.
9. Reykhard, L. Ye. Fe-Mn nodule morphotypes from the NE Clarion-Clipperton Fracture Zone, Pacific Ocean: Comparison of mineralogy, geochemistry and genesis / L. Ye. Reykhard, N. A. Shulga // *Ore Geology Reviews*. - 2019. - Vol. 110. - 102933.
10. Рейхард, Л. Е. Терригенные и биогенные минералы в аэрозолях, гидрозолях и криозолях приполюсного района Арктики / Л. Е. Рейхард // *Материалы международной научной конференции XII Съезд РМО, г. Санкт-Петербург, НМСУ «Горный»*. - 2015. - С. 49-51.
11. Reykhard, L. Halogenesis and biomineralization in the residual basins of the Aral Sea / L. Reykhard, Ph. Sapozhnikov, A. Izhitskiy, O. Dara, A. Boev, N. Andrulionis, N. Kozina, O. Kalinina, A. Reikhard // *Acta Cryst.* - 2019.- A75. - e203.
12. Reykhard, L. Biominerals in aquatic geosystems under extreme conditions / L. Reykhard, N. Shulga, N. Kozina, Y. Novichkova, O. Dara, A. Boev, P. Sapozhnikov, A. Izhitskiy, N. Belyaev, V. Gordeev, O. Kalinina, A. Reikhard. // *Abstracts BIOMIN XV: 15th International Symposium on Biomineralization. Munich, Germany. 2019* - P.63.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ
СУБМАРИННЫХ МЕРЗЛЫХ ТОЛЩ И ЗОНЫ СТАБИЛЬНОСТИ
ГАЗОГИДРАТОВ (НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО
ШЕЛЬФА)**

Гаврилов А.В.¹, Малахова В.В.², Пижанкова Е.И.¹

¹*Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, 119991, Москва, ГСП-
1, Ленинские горы, д. 1, геологический факультет,
8(495) 939-29-70, факс 8(495) 932-88-89, admin@geol.msu.ru*

²*Институт вычислительной математики и математической геофизики
СО РАН, просп. академика Лаврентьева, 6, 630090, Новосибирск, 7(383)330-
83-53, факс +7(383)330-87-83, malax@sscc.ru*

**MATHEMATICAL MODELING OF EVOLUTION OF FROZEN
SUBMARINE THICKNESS AND ZONE OF STABILITY OF GAS
HYDRATES (ON THE EXAMPLE OF THE EASTERN SIBERIAN
SHELF)**

Gavrilov A.V.¹, Malakhova V.V.², Pizhankova E.I.¹

¹*Moscow State University them. M.V. Lomonosov, Geological Faculty,
119991, Moscow, GSP-1, Leninskie Gory, 1, Faculty of Geology,*

²*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB
RAS, prosp. Academician Lavrent'ev, 6, 630090, Novosibirsk*

Параметры подводной вечной мерзлоты и зоны устойчивости газовых гидратов на северо-западе Восточно-Сибирского шельфа оценены с помощью термоматематического моделирования. Проверка результатов показала эффективность этого метода.

Parameters of subsea permafrost and gas hydrate stability zone in the northwest of the East Siberian shelf were estimated by using of thermal mathematical modeling. Verification of the results has shown the effectiveness of this method.

Введение. Метод математического моделирования для оценки параметров субмаринных многолетнемерзлых пород (ММП) и зоны

стабильности гидратов газов (ЗСГГ) используется с конца XX – начала XXI вв. соответственно. Последние 10-15 лет ознаменовались совершенствованием численных методов решения тепловых задач, успехами в изучении истории климата и палеогеографии арктических морей, что положительно сказалось на результативности метода. В докладе представлены результаты применения метода теплового математического моделирования, модифицированного для получения информации о распространении и мощности субмаринных ММП, расположении верхней и нижней границ ЗСГГ.

Исследовалось формирование ММП и ЗСГГ в ходе геологического развития Восточно-Сибирского шельфа, прилегающего к островам Анжу и Де Лонга архипелага Новосибирские острова, с учетом динамики климата, уровня моря и криосферы в последние 200 тыс. лет. В настоящих исследованиях при тепловом математическом моделировании использовались реальные разрезы по скважинам, пробуренным на о. Новая Сибирь в 80-х годах XX в. Результаты оценки сопоставлялись с параметрами ММП и ЗСГГ во внеледниковых условиях.

Методы исследований и построение сценария развития криосферы региона в последние 200 тыс. лет. Для расчета теплового состояния многолетнемерзлых пород и термобарических условий для газогидратов использовалась одномерная модель теплофизических процессов в донных отложениях с учетом фазовых переходов между мерзлым и талым грунтом [4].

Сценарий уровня моря для внеледниковых условий строился на основе гляциоэвстатических кривых колебаний уровня Мирового океана и их трансформации с помощью данных по динамике седиментационных обстановок в регионе. Материалами для построения палеотемпературного сценария в период 200-15 тыс.л.н. являлись данные палеотемпературных реконструкций по датированным осадкам севера Якутии и Новосибирским островам - с одной стороны, и изотопная палеотемпературная кривая ст. Восток (Восточная Антарктида) – с другой.

Основные новации были сопряжены с оценкой гляциоизостатических движений в регионе. Она была необходима для построения кривых динамики уровня моря и температуры пород. Указанные кривые были построены на основе данных о развитии оледенения в морских условиях, приуроченности пластового льда к наиболее глубоководным фациям канарчакской свиты среднего неоплейстоцена, датирования млекопитающих мамонтового комплекса

и абс. высот морской позднеплейстоценовой террасы на островах Новая Сибирь и Фаддеевский [1, 2].

Тестирование сценария производилось путем математического моделирования на участках бурения на о. Новая Сибирь, обеспеченных геотермическими наблюдениями в скважинах [3].

Субмаринные ММП (результаты моделирования). Результаты моделирования во внеледниковых и ледниковых условиях в соответствии со сценарием при тепловом потоке 50, 60 и 75 Вт/м² показывают зависимость мощности (глубины залегания нижней поверхности) ММП от геотермического потока, истории геологического развития (ледниковые, внеледниковые условия) и глубины моря (рис. 1).

Зависимость мощности ММП от плотности геотермического потока выражена наиболее ярко. Мощность ММП сокращается с ростом плотности как в ледниковых, так и во внеледниковых условиях. Сокращение при разных изобатах укладывается в диапазон 320 - 280 м. Зависимость мощности ММП от наличия или отсутствия оледенения выражается также весьма отчетливо. В ледниковых условиях по сравнению с внеледниковыми при 50 мВт/м² она меньше примерно на 200 м на всех изобатах. При 75 мВт/м² сокращение выражается в таких величинах: 150 м на изобате 5 м и более 200 м на изобатах 20 и 40 м.

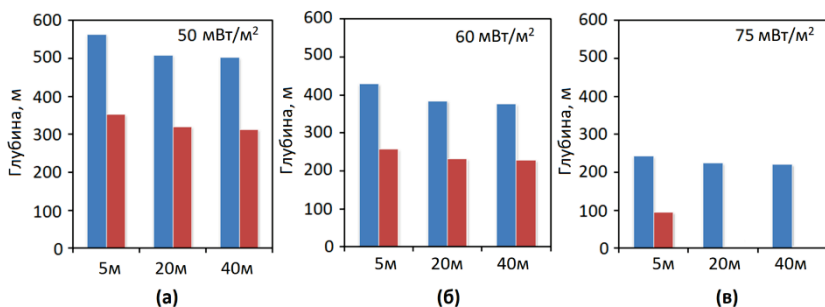


Рис. 1. Многолетнемерзлые породы шельфа во внеледниковых (синие столбики) и в ледниковых условиях (красные столбики) на изобатах 5, 20 и 40 м. Результаты моделирования для современного периода при тепловом потоке: (а) - 50 мВт/м², (б) - 60 мВт/м², (в) - 75 мВт/м²

Проведенные расчеты показывают [3], что при тепловом потоке 50 или 60 мВт/м² влияние оледенения конца среднего неоплейстоцена выражается сокращением мощности ММП на 150-200 м в зависимости от изобат. При тепловом потоке 75 мВт/м² на изобатах 20-40 м оно приводит к формированию прерывистого или островного распространения ММП. В зависимости от соотношения температуры

придонной воды и температуры замерзания поровых растворов пород на этих изобатах возможно новообразование ММП.

Эволюция толщ ММП. Результаты моделирования показывают, что наиболее значительное влияние оледенение оказало на эволюцию толщ ММП и ЗСГГ. По нашим данным ММП и ЗСГГ во внеледниковых условиях непрерывно существовали в течение всего расчетного периода (200 т.л.н.- современность). В ледниковой области в течение последних 200 тыс. лет ММП существовали примерно с 190 по 125 т.л.н. и с 70-55 т.л.н. до настоящего времени [3].

Зона стабильности гидратов газов по результатам моделирования формировалась совместно с ММП во внеледниковых условиях при тепловом потоке от 50 до 75 мВт/м², в ледниковых – дошла до современности только при 50 и 60 мВт/м² [3]. Кровля ЗСГГ по результатам моделирования в ледниковых условиях залегает на глубинах 140-160 м, во внеледниковых – несколько ниже. Меньшие значения отвечают изобатам 40, большие – изобатам 5 м. Нижняя граница ЗСГГ в ледниковых условиях располагается на глубинах, близких 700 м при 50 мВт/м², на 450-500 - при 60 мВт/м². В внеледниковых условиях глубины ее залегания составляют 900-1050 и 770-790 м при 50 и 60 мВт/м² соответственно. При 75 мВт/м² они в основном близки к 400 м.

Выводы

Моделирование впервые базировалось не на условных схематизированных разрезах, а на данных бурения толщ, вмещающих, перекрывающих и подстилающих пластовый лед острова Новая Сибирь. Палеотемпературный сценарий тестирован результатами геотермических наблюдений в скважинах. Этим обеспечивается реалистичность результатов моделирования. Верификация результатов показала эффективность метода.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 20-11-20112).

ЛИТЕРАТУРА

1. Басилян А.Э., Никольский П.А. Опорный разрез четвертичных отложений мыса Каменный (Новая Сибирь) // Бюл. Комис. по изучению четвертичного периода. 2007.- № 67.- С. 76-84.
2. Тумской В.Е. Особенности криолитогенеза отложений северной Якутии в среднем неоплейстоцене – голоцене// Криосфера Земли. 2012.- Т. XVI.- № 1.- С. 12–21.

3. Gavrilov, A., Malakhova V., Pizhankova E., Popova A. Permafrost and Gas Hydrate Stability Zone of the Glacial Part of the East-Siberian Shelf // *Geosciences*. – 2020. - V. 10 (12). - 484.
<https://doi.org/10.3390/geosciences10120484>
4. Malakhova, V.V. & Eliseev, A.V. Uncertainty in temperature and sea level datasets for the Pleistocene glacial cycles: Implications for thermal state of the subsea sediments // *Global and Planetary Change*.- 2020.- V. 192.- 103249. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2020.103249

УДК 551.34:551.46:528.8

КОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ИЗУЧЕНИИ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ШЕЛЬФЕ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ РОССИИ

Пижанкова Е.И.¹, Гаврилов А.В.¹, Кучейко А.А.²

¹*Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, 119991, Москва, ГСП-
1, Ленинские горы, д. 1, геологический факультет,
8(495) 939-29-70, факс 8(495) 932-88-89, admin@geol.msu.ru*
²*Компания «РИСКСАТ», 142784, Москва, Киевское шоссе, д.1,
Бизнес-парк «Румянцево», стр.1, офис 819а, 8(903)128-75-10,
otr.moroz@yandex.ru*

SPACE METHODS IN STUDYING EXOGENOUS GEOLOGICAL
PROCESSES ON THE SHELF OF THE ARCTIC SEAS OF RUSSIA

Pizhankova E.I. ¹, Gavrilov A.V. ¹, Kucheiko A.A. ²

¹*Moscow State University them. M.V. Lomonosov, Geological Faculty,
119991, Moscow, GSP-1, Leninskie Gory, 1, Faculty of Geology,*
²*RISKSAT Company, 142784, Moscow, Kievskoe shosse, 1, Rumyantsevo
Business Park, building 1, office 819a,*

Многоступенчатые спутниковые снимки - эффективный метод изучения процессов на арктическом шельфе. Они демонстрируют береговую эрозию, отложения на мелководье и в лагунах, образование островов во время дегляциации и вечной мерзлоты на косах.

Multitemporal satellite images are an effective method for studying processes on Arctic shelf. They display the coastal erosion, sedimentation on shallows and in lagoons, the formation of islands during deglaciation and permafrost on the spits.

Современные и архивные космо-и аэроснимки поставляют важную информацию об основных процессах, развитых в береговой зоне и на мелководьях арктических морей. Это отступление берегов под действием термоабразии и термоденудации; современное осадконакопление: морское и аллювиально-прибрежно-морское, современное многолетнее промерзание новообразованных осадков в субаральных условиях и в субаквальных условиях мелководий. Потепление климата, особенно усилившееся в начале XXI века, приводит к ускорению деструктивных береговых процессов и донного оттаивания (в интервале глубин 2-10 м), которые поставляют значительное количество дисперсного материала в шельфовую зону. С другой стороны, сокращение ледовитости, активизируя гидродинамические процессы, способствует новообразованию банок и островов на мелководьях - там, где в прошлом происходил размыв и понижение донной поверхности. Мелководья морей Лаптевых и Восточно-Сибирского сформировались на месте размывавшихся в XVII-XX вв. островов-останцов ледового комплекса (ЛК) позднего неоплейстоцена, приуроченных к положительным морфоструктурам. Повышение поверхности островов и банок происходит на фоне повышения уровня моря в связи с потеплением климата и регистрируется на космических снимках там, где имеют место современные положительные вертикальные движения. Почти 200 лет назад Семеновское мелководье являлось островом. Термоабразионный размыв завершился его исчезновением спустя 120 лет, к 1950-му году. В начале XXI в. углубление моря над Семеновской банкой сменилось осадконакоплением на его вершинной поверхности. На соседней Васильевской банке в 2013 г. зафиксирован малый остров Яя. Однако по данным космоснимков (КС) Terra/MODIS, мель на вершине Васильевской банки впервые наблюдалась по обрушению волн (бурунам) уже в 2003-2005 гг. С конца октября 2003 г. на этой банке практически ежегодно формируется стамуха. Сопоставление снимков Landsat-7 и -8 за 2007, 2018, 2020 гг. позволило зафиксировать возникновение острова Яя, остатки стамух и буруны на мелководье. Использование разносезонных КС Landsat, Sentinel и MODIS за 1973-2019 гг. дало возможность выявить ряд других банок. Они дешифрируются по приуроченности к ним стамух в периоды ледостава

и разрушения сезонного льда, а в безледный сезон - по ареалам взвеси над банками или бурунов при ветре. Таковы банка Опасная, банки на мелководье Семеновском и Нерпа, безымянные мелководья к северо-востоку и к западу от дельты р. Лена.

Образование островов и банок сопровождается их синкриогенезом. Об этом процессе свидетельствует, в частности, формирование современных полигональных форм (вследствие морозобойного растрескивания) на голоценовых косах малых островов (рис. 1). Лучше всего они выражены со стороны лагуны, поскольку защищены от прямого волнового воздействия моря и имеют более тонкий состав осадков (глины, илы, пелиты).

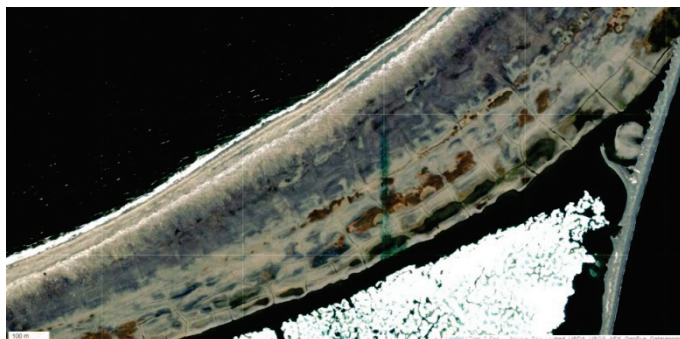


Рис. 1. Современные полигоны на томболо между малым островом и о. Расторгуева в притаймырской части Карского моря.
[<https://bestmaps.ru/map/esri/sat/15/74.016/84.2906>]

В интервале 76-80°с.ш. ведущими факторами осадконакопления в прибрежно-шельфовой зоне морей Карского и Лаптевых являются морской лед и твердый сток ручьев малых островов. Снеготаяние и половодье на островах на 1-2 месяца опережают разрушение берегового припая. Края припая в эти месяцы служат плотинами, где складировются влекомые полыми водами осадки (рис. 2).

Выделяемые по КС косы обозначают места образования плотин, которые ежегодно наращиваются новыми порциями аллювия. На рис. 2Б видно, что плотины превратили долины ручьев в подпрудные бассейны (3 на рис. Б). Сопоставление летнего (А) и весеннего (Б) снимков - показывает, что разрушение припая происходит поэтапно. Сначала разрушается припай во внутренней лагуне (2 на рис.2), а заканчивается разрушением на границе внешней лагуны с морем (1 на

рис.2). Основным агентом разрушения припая являются полые воды. Обычно косы считаются результатом деятельности морского волнения. Однако в этой широтной зоне участие моря в процессе видится второстепенной. Несопоставимость по размерам эстуариев и образующих их ручьев обуславливается, по-видимому, ежегодным существованием плотин, образуемых морскими льдами.

Современное сокращение арктических ледников обнажает подледниковый рельеф. Поэтому, а также в связи с положительными гляциоизостатическими движениями на периферии ледниковых систем

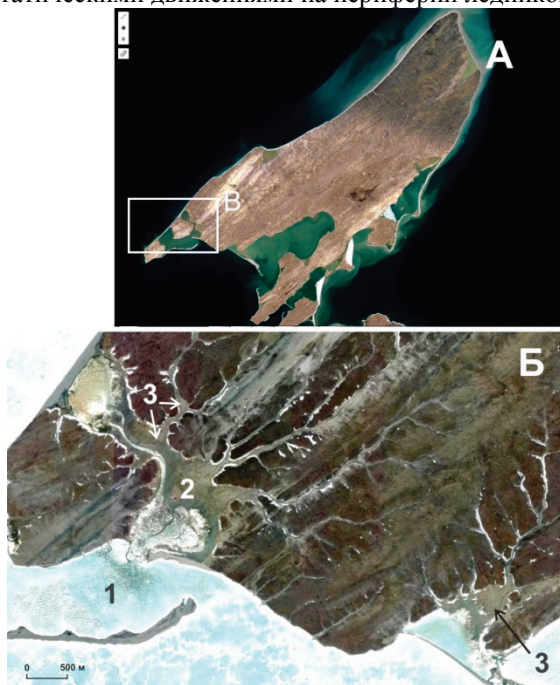


Рис. 2. Формирование кос в прибрежно-шельфовой зоне острова Русский (архипелаг Норденшельда в Карском море).

А – летний космоснимок; Б - весенний космоснимок;

В – контур снимка Б на космоснимке А; 1 – внешняя лагуна, 2 - внутренняя лагуна, 3 – расширенные (эстуарные) части мелких рек
[\[https://bestmaps.ru/map/esri/sat/12/76.9976/95.6299\]](https://bestmaps.ru/map/esri/sat/12/76.9976/95.6299)

Новой Земли, Земли Франца-Иосифа, Северной Земли и островных ледников (Шмидта, Ушакова) появляются новые острова. Обилие спутниковых данных позволило достаточно точно зафиксировать время

образования малых островов у Новоземельских ледников Вилькицкий Южный и Розе, произошедшего соответственно в июле и августе 2020 г.

Применение космоснимков в силу их большого количества, различного разрешения и времени съемки (годы и сезоны), широкого территориального охвата, возможности использования ГИС-технологий и программ обработки позволяет изучать широкий комплекс экзогенных геологических процессов, развивающихся в береговой зоне и на мелководьях арктических морей.

УДК 000.00

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ГЛУБОКОВОДНОГО БУРЕНИЯ ТКГБ ДЛЯ МОРСКИХ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

**Насонов Д.А., Григорчук А.В., Воронов М.А., Каминский Д.В.,
Малин В.Б.**

*Полярная морская геологоразведочная экспедиция
ул. Победы, 24, г. Ломоносов, 198412, г. Санкт-Петербург
8(812) 422-12-82, NasonovDA@rusgeology.ru*

DEVELOPMENT AND MANUFACTURE OF A DEEPEA DRILLING COMPLEX FOR OFFSHORE GEOLOGICAL EXPLORATION

**Nasonov D.A., Grigorchuk A.V., Voronov M.A., Kaminskiy D.V.,
Malin V.B.**

*Polar marine geosurvey expedition
24, Pobedy str., Lomonosov, St. Petersburg, 198412*

Рассматриваются основные этапы разработки и изготовления опытного образца технологического комплекса глубоководного бурения револьверного типа для проведения морских геологоразведочных работ на глубине моря до 6000 м.

Key stages of development and manufacture of a test prototype of a deepsea drilling complex of a revolving type for offshore exploration activities up to 6000 m sea depths are addressed.

В связи с постепенным истощением запасов минерального сырья на суше возрастает практический интерес к подводным месторождениям океанического дна.

Международным сообществом активно исследуются разведочные районы, выделенные Международным органом по морскому дну (МОМД) для изучения и последующей добычи железомарганцевых конкреций (ЖМК), кобальтоносных марганцевых корок (КМК), глубоководных полиметаллических сульфидов (ГПС).

На сегодняшний день Российская Федерация в лице АО «Росгеология» и входящего в его состав АО «ПМГРЭ» в рамках подписанного Контракта по изучению ГПС с МОМД приступила к выполнению второго этапа работ, основной целью которого является выявление конкретных рудных объектов и оценка потенциальных ресурсов слагающих их руд.

Для качественного решения поставленных задач предусмотрено выполнение разных видов работ. Это и дистанционные методы, включая высокоразрешающую батиметрическую съемку, гидролокацию бокового обзора с геоакустическим профилированием, высокоразрешающее фототелевизионное профилирование, гидрофизическое зондирование, а также методы, включающие точечный отбор проб. Полевые работы осуществляются на научно-исследовательском судне АО «ПМГРЭ» «Профессор Логачев». Отбор проб ГПС производится с помощью телевизионного грейфера. Для предварительного изучения пространственного распределения сульфидных руд на глубину предусмотрено бурение отдельных скважин глубиной до 15 м.

Буровые работы являются неотъемлемой частью геологоразведочных работ (ГРП) по изучению полезных ископаемых (ПИ). Подсчет запасов ПИ (категория С) в обязательном порядке осуществляется на основе информации о пространственном (3D) залегании рудного вещества, что достигается выполнением буровых исследований.

Буровые работы в океанах на глубинах 500-6000 м уже выполняются такими странами как Германия, Австралия, Великобритания. Однако в РФ работы по глубоководному бурению скважин до 15 метров на океаническом дне и большой удаленности от континента до настоящего времени не проводились. Поэтому для решения поставленных геологических задач и выполнения Контракта на разведку ГПС с МОМД в АО «ПМГРЭ» принято решение о разработке собственной глубоководной буровой установки донного базирования с подачей питания и контролем через оптоволоконный кабель с борта

судна-носителя путем проведения НИОКР.

При разработке требований к глубоководному буровому необходимо учитывать:

- особенности технологических процессов (углубление скважины, СПО, вспомогательные операции)
- взаимосвязь процессов в различных частях комплекса бурового оборудования;
- многообразие видов динамических процессов, протекающих в системе;
- влияние систем автоматического управления и регулирования на динамические характеристики оборудования;

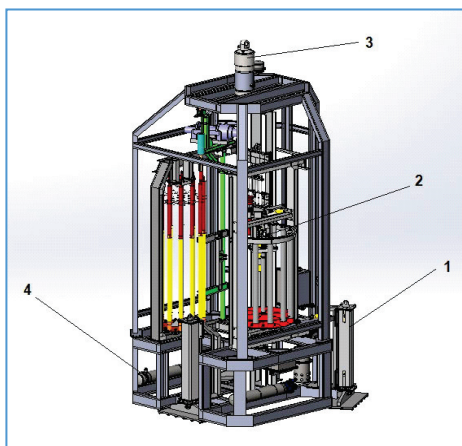


Рис.1. Обзорная схема подводной части ТКГБ
(1 - цилиндр горизонтирования; 2 – буровой модуль;
3 - глубоководный вертлюг/ токосъем; 4 - гидроэлектропривод
ГЭП)

неоднозначность выбора критериев эффективности и оптимальности оборудования в глубоководных условиях бурения (показателей надежности, энергоэффективности, качества процесса бурения, массогабаритных, транспортабельности, уровня автоматизации, экологических, экономических и др.).

ТКГБ револьверного типа с гидравлическим приводом включает в себя три основных составляющих: подводная часть, набортная часть (пульт управления), спускоподъемное устройство.

Технические параметры:

- Бурение на глубине до 6000 м
- Современные цифровые IP видеокамеры, телеметрические датчики
- Питание 3000 В, низкий уровень тока
- Бурение до 15 метров, керн диаметром 50.5 мм
- Малые габариты (4.9x2,3x2,3 м) и вес (5000 кг).

ТКГБ устанавливается на многоцелевых научно-исследовательских судах и применяется для мелкого бурения морского дна. Подводная часть (ПЧ) размещается на дне моря и удаленно контролируется оператором с установленного на судне-носителе пульта управления. Контроль за процессом бурения, а также подача питания осуществляется через оптоволоконный кабель. При использовании ТКГБ можно достичь относительно глубокого проникновения в морское дно путем создания буровой колонны из труб, хранящихся в магазине (револьвере) буровой установки. ТКГБ имеет систему телеметрии для передачи данных и энергоснабжения.

По сравнению с буровыми судами ТКГБ донного базирования имеет ряд существенных преимуществ. Мобильность – возможность доставки 20-фунтовым контейнером в любую точку мира за счет малого веса и габаритов. Так как комплекс работает на стабильной платформе непосредственно на морском дне, движение судна и волнение моря (до 3 баллов) не оказывают негативного влияния на процесс бурения. Имеется возможность управлять давлением на породоразрушающий инструмент при бурении, что позволяет получать керн высокого качества. Одно из ключевых преимуществ – это низкая стоимость буровых работ.

Область применения:

- Изучение геолого-стратиграфических разрезов донных образований в глубоководных районах Мирового океана.
- Колонковое бурение скважин глубиной до 15 м по породам до XII категории по буримости.
- Геологоразведочное бурение в районах ТПИ (ЖМК, КМК, ГПС) для расчета прогнозных ресурсов полезных ископаемых.
- Бурение параметрических скважин при обосновании внешней границы континентального шельфа государства.
- Инженерно-геологические изыскания на дне акваторий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шагин А.А. и др. Опытнo-методические работы по оценке масштабов рудоносности гидротермальных полей тропической зоны САХ в 1992-1994. // Фонды ФГУНПП «ПМГРЭ», г. Ломоносов. - 1994.
2. Правила поиска и разведки полиметаллических сульфидов в Районе. (ISBA/16/A/12/Rev.1). - 2010. – с. 54.

УДК 551.464.621

НОВЫЙ ЛОГГЕР РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА

Кочетов О.Ю., Кондрашов А.А., Швоев Д.А., Островский А.Г.

*Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, 117997, г. Москва,
Нахимовский проспект, д.36, E-mail: ok@noiselab.ru*

A NEW LOGGER FOR DISSOLVED OXYGEN

Kochetov O.Yu., Kondrashov A.A., Shvov D.A., Ostrovskii A.G.

¹ *Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospekt, Moscow, 117997*

Представлено устройство и функциональные особенности нового компактного автономного регистратора-измерителя содержания кислорода в воде, на основе оптического датчика Aanderaa Oxygen OEM Optode 5730. Прототип прибора был испытан в акватории Геленджикской бухты Черного моря в 2020 году, приведены результаты испытаний.

A new compact autonomous logger for dissolved oxygen measurements based on Aanderaa Oxygen Optode OEM 5730 is presented, with detailed description of its design and functionality. The test deployment of the logger was carried out in the Gelendzhik Bay area of the NE Black Sea in late 2020. The results of the deployment are also presented.

Измерения концентрации растворенного в воде свободного кислорода критически важны для многих приложений, таких как экологический мониторинг, аквафарминг, промышленность и другие. Распределение растворённого в воде кислорода - один из важнейших параметров морской среды, характеризующий процессы вентиляции вод и водообмена. Большой резонанс вызывают работы по изучению деоксигенации океана вследствие эффекта глобального потепления климата [1]. Успешно применяются в океанологии технические средства, основанные на принципе оптического измерения времени затухания люминесценции молекул кислорода [2, 3]. Этот подход постепенно вытесняет классические методики измерения концентрации растворенного кислорода, такие как лабораторное йодометрическое титрование и электрохимическая полярография *in situ*.

Современные оптические датчики – это сравнительно недорогие, компактные и энергоэффективные устройства, которые позволяют оперативно получать данные измерений *in situ*, не требуют частого обслуживания и сложных процедур калибровки, а значит могут работать в море длительное время, в том числе в составе автономных подводных обитаемых аппаратов и на буйковых станциях. Подобные датчики позволяют реализовать компактное устройство – логгер, простое в эксплуатации и способное длительно работать автономно, сохраняя результаты измерений на встроенном накопителе данных. В 2020 г. в ИО РАН был создан и успешно испытан экспериментальный образец такого прибора - логгера.

В логгер интегрирован датчик растворённого кислорода Aanderaa Oxygen Optode OEM 5730 [4]. Он обладает превосходной долговременной стабильностью, измеряет абсолютную концентрацию кислорода и не требует частых перекалибровок. Диапазон допустимых температур составляет от -5°C до +40°C, погрешность измерений менее 4 мкм или 2% при разрешении менее 0.1 мкм. В рабочем диапазоне глубин до 100 м не требуется компенсация по давлению.

Логгер планируется оснастить цифровым датчиком давления TE Connectivity MS5837-30BA точностью до 50 мбар в диапазоне рабочих давлений 0-50 дбар и до 100 мбар в диапазоне рабочих давлений 0-200 дбар [5], а также системой обеспечивающей корректировку на атмосферное давление с точностью 0.5 мбар. Накопителем информации в логгере служит карта памяти формата microSD, объемом до 64Гб. Поддерживаются файловые системы FAT32 и exFAT, поэтому прочитать данные с носителя можно на любом современном персональном компьютере.

В качестве центрального процессора логгера используется микроконтроллер STM32L151RDT. Тактовые импульсы для часов реального времени генерирует микросхема Maxim DS3231, обеспечивающая компенсацию температурного дрейфа частоты. За связь с персональным компьютером отвечает преобразователь интерфейсов USB-UART Silicon Laboratories CP2102, обмен данными с логгером происходит со скоростью 460800 бод.

Прибор запитывается от двух литий-ионных аккумуляторов типоразмера 21700 емкостью 5 А/ч при номинальном напряжении 7.2 В. Предусмотрена возможность зарядки батарей прямо в логгере.

Датчик кислорода размещен на крышке прочного корпуса. Прочный корпус логгера цилиндрический, с габаритами 200x80 мм, диаметр основной части – 70 мм, изготовлен из конструкционного пластика, обеспечивает работу на глубине до 100 м.

С противоположной стороны от датчика кислорода под отвинчивающейся крышкой находится кнопка включения питания, разъем mini-USB для подключения к компьютеру, разъем для зарядки аккумулятора и слот microSD карты. Внешний вид прибора и расположение разъемов представлены на рис. 1.

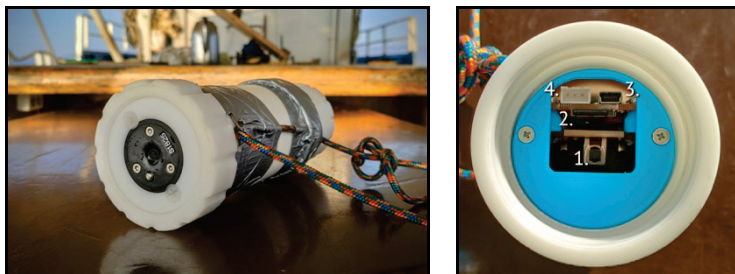


Рис.1. Внешний вид логгера (слева) и расположение разъемов (справа): 1 - выключатель питания, 2 - слот SD-карты, 3 - разъем для подключения к компьютеру, 4 - разъем зарядки батарей

Встроенное программное обеспечение логгера написано на языке программирования C++, применена операционная система FreeRTOS.

Для диалога с пользователем реализован интерфейс типа “командная строка” со встроенной справочной системой.

При работе с прибором не требуется вынимать microSD карту из слота, все операции с носителем обеспечиваются командами. Прочие команды позволяют получить обзор текущего состояния, проводить

тестирование, конфигурировать настройки, запускать и останавливать автоматический режим. Файлы с результатами измерений сохраняются в формате “CSV”, что позволяет их легко импортировать в различные программы для обработки данных.

В автоматическом режиме измерений прибор через заданные промежутки времени, выполняет измерения, после чего снова переходит в состояние сна. Окончание работы происходит по таймеру, по команде оператора или при разряде батареи.

В ходе экспедиции ИО РАН “Черное море” на базе Южного отделения ИО РАН логгер был испытан в начале декабря 2020 г. Была проведена серия из 5-ти измерений растворённого кислорода в нескольких точках Геленджикской Бухты, а также разрез от глубины 20 м до глубины 100 м, в 6 точках в створе Геленджикской бухты. Во всех точках прибор был закреплён в 30 см над грузом, погружение производилось до момента касания грузом грунта, после чего в течение минимум 5-ти минут производилось измерение, при частоте опроса датчика 1 Гц.

Во всех пяти точках в Геленджикской бухте уровень растворенного кислорода был выше 90% и приблизительно одинаковым.

Результаты измерений уровня растворенного кислорода на разрезе от глубины 20м до 100м представлены на рис. 2.

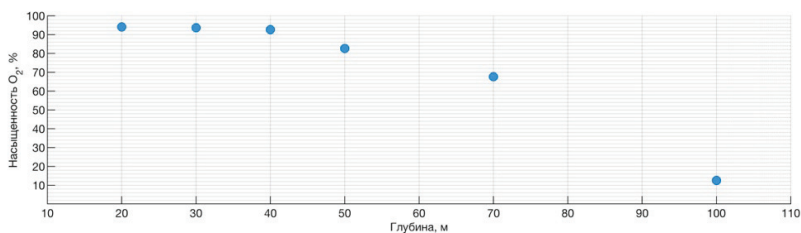


Рис. 2. Результаты измерения растворенного кислорода на разрезе в створе Геленджикской бухты.

На графике видно, что количество растворенного кислорода практически не меняется до глубины 40 м и составляет более 90%, после чего значительно снижается и на глубине 100 м составляет уже около 12%, что можно охарактеризовать, как гипоксию.

В ходе испытаний прибор показал полную готовность к эксплуатации.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема 0128-2021-0010) и грантов РФФИ №19-05-00459 и №19-45-230012.

ЛИТЕРАТУРА

1. Keeling, R. F. Ocean deoxygenation in a warming world / Keeling, R. F., Körtzinger A., Gruber N. – 2009. // https://cdn.ioos.noaa.gov/media/2017/12/keeling_et al2010ocean_deoxygeati on_in_warming_world.pdf
2. Wei Y. Review of dissolved oxygen detection technology: From laboratory analysis to online intelligent detection / Y. Wei, Y. Jiao, D. An, D. Li, W. Li, Q. Wei //Sensors. – 2019. – Т. 19. – №. 18. – С. 3995.
3. Bittig H. C. Oxygen optode sensors : principle, characterization, calibration, and application in the ocean / H.C. Bittig, A. Körtzinger, C. Neill, E. van Ooijen, J.N. Plant, J. Hahn, K.S. Johnson, B. Yang, S.R. Emerson //Frontiers in Marine Science. – 2018. – Т. 4. – С. 429.
4. Aanderaa Oxygen Optode 5730 Datasheet https://www.aanderaa.com/media/pdfs/d419_aanderaa_oxygen_sensor_5730.pdf
5. TE Connectivity MS5837-30BA Datasheet <https://www.te.com/usa-en/product-CAT-BLPS0017.datasheet.pdf>

УДК 553.982:532.546:536.421

ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ ПУЗЫРЯ МЕТАНА В ВОДЕ ПРИ ЕГО ВСПЛЫТИИ

Егоров А.В.¹, Рожков А.Н.²

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

² *Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, пр. Вернадского, 101 (к.1), 119526, г. Москва, 8(495)434-33-52, rozhkov@ipmnet.ru*

MEASURING THE RATE OF DISSOLUTION OF A METHANE BUBBLE IN WATER DURING ITS RISE

Egorov A.V. ¹, Rozhkov A.N. ²

¹ *Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36, Nakhimovskii prospekt, Moscow, 117997*

² *Institute for Problems in Mechanics. A.Yu. Ishlinsky RAS, Vernadsky Ave., 101 (building 1), 119526, Moscow.*

Описана методика и представлены результаты измерения скорости растворения газообразного метана, содержащегося в пузырьке, при его всплытии.

The rate of dissolution of gaseous methane contained in a bubble in the surrounding aqueous medium was measured when the bubble ascends.

Работа направлена на выявление особенностей подъёма метановых пузырей со дна водоёма на поверхность. Данное явление ответственно за перенос метана из подводных залежей метана в атмосферу, где благодаря высокой радиационной поглощательной способности метан активно участвует в парниковом эффекте, внося значительный вклад в глобальное потепление на Земле.

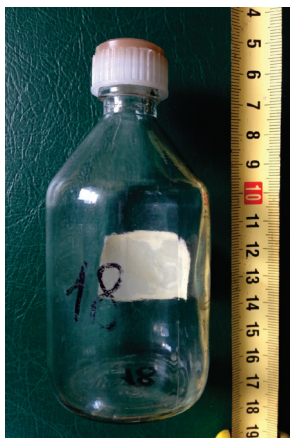


Рис. 1. Ёмкость 124 мл, в которой путём последовательных переворачиваний формировалась серия 20 всплытий пузыря метана.

Процесс всплытия пузыря моделировался путём периодического всплытия пузыря метана в ёмкости, которую переворачивали, как только пузырь достигал верхней точки ёмкости. Проведены измерения концентрации растворённого метана в ёмкости 124 мл, заполненной водой, (рис. 1) после последовательности 20 всплытий (таблица 1). Использовались пузыри различного начального размера r_0 . Начальный объём пузыря задавался путём впрыска метана в ёмкость при помощи шприца, содержащего заданный объём метана (50 – 500 мл). После 20 всплытий определялась концентрация растворённого метана $c_{20}[\mu\text{l/l}]$ по методике [1].

Скорость всплытия пузырей v_z определялась по формуле Маленкова [2]

$$v_z = \alpha(\beta\sigma/(r_0(\rho_w - \rho_m)) + gr_0(\rho_w - \rho_m)/\rho_w)^{1/2},$$

где $\alpha=0.8944$, $\beta=1.625$, $\sigma=0.073$ N/m – коэффициент поверхностного натяжения воды, $\rho_w=1000$ kg/m³ – плотность воды, $\rho_m=0.7$ kg/m³ – плотность газообразного метана, $g=9.81$ – ускорение свободного падения. Вычисления показывают, что скорость всплытия пузырей в данном диапазоне радиусов r_0 меняется незначительно и составляет $v_z=0.2365\pm 0.0030$ m/s, где число после знака \pm – стандартное отклонение.

Таблица 1 представляет результаты измерений и обработки данных. В таблице: v_0 – начальный объём метанового пузыря, задавался шприцом, v_{20} – объём газа, растворившегося в воде после 20 всплытий пузыря, $v_{20}[\mu\text{l}]=c_{20}[\mu\text{l/l}]\times 0.124[1]$, $c_{20}[\mu\text{l/l}]$ – измеренная при помощи хроматографа концентрация метана в ёмкости 124 ml после 20 всплытий; $r_0=(v_0/(4/3\pi))^{1/3}$ – начальный радиус пузыря; $r_{20}=(v_{20}-v_{20})/(4/3\pi)^{1/3}$ – конечный радиус пузыря после 20 всплытий; $\Delta r_{20}=r_0-r_{20}$ – уменьшение радиуса пузыря за счёт растворения метана в воде после 20 всплытий; $t_{20}=0.1[\text{m}]\times 20/v_z$ – время, потраченное на 20 всплытий, в ходе каждого путь пузыря составлял $\approx 0.1[\text{m}]$ – см. рис. 1; $v_{\text{surf}}=\Delta r_{20}/t_{20}$ – скорость сжатия пузыря за счёт растворения метана, $h_{\text{total}}=v_z\times r_0/v_{\text{surf}}$ – путь, который пройдёт пузырь до полного растворения в данных термобарических условиях.

Таблица 1

$v_0, \mu\text{l}$	$\Delta v, \mu\text{l}$	r_0, mm	r_{20}, mm	$\Delta r_{20}, \mu\text{m}$	t_{20}, s	$v_{\text{surf}}, \mu\text{m/s}$	$h_{\text{total}}, \text{m}$
50	3.9	2.28	2.22	61.03	8.20	7.44	74.88
50	4.6	2.28	2.21	72.35	8.20	8.82	63.17

$v_0, \mu\text{l}$	$\Delta v, \mu\text{l}$	r_0, mm	r_{20}, mm	$\Delta r_{20}, \mu\text{m}$	t_{20}, s	$v_{\text{surf}}, \mu\text{m/s}$	$h_{\text{total}}, \text{m}$
100	7.4	2.87	2.80	72.85	8.48	8.58	79.04
100	7.1	2.87	2.80	69.82	8.48	8.22	82.47
150	8.8	3.29	3.23	65.76	8.55	7.68	100.24
150	9.6	3.29	3.22	71.87	8.55	8.40	91.72
150	8.8	3.29	3.23	65.76	8.55	7.68	100.24
200	8.6	3.62	3.57	52.76	8.55	6.16	137.51
200	11.6	3.62	3.55	71.53	8.55	8.36	101.42
200	12.4	3.62	3.55	76.58	8.55	8.94	94.74
250	11	3.90	3.84	58.17	8.53	6.81	134.34
250	10.6	3.90	3.85	56.03	8.53	6.56	139.48
250	10.5	3.90	3.85	55.49	8.53	6.50	140.83
300	11.5	4.15	4.09	53.75	8.49	6.32	154.50
300	14.9	4.15	4.08	69.92	8.49	8.23	118.78
300	15.8	4.15	4.07	74.22	8.49	8.73	111.89
300	12.1	4.15	4.09	56.60	8.49	6.66	146.74
300	16.8	4.15	4.07	79.01	8.49	9.30	105.11
350	19.8	4.37	4.28	84.04	8.45	9.94	104.03
350	17.7	4.37	4.29	74.97	8.45	8.87	116.62
350	17.2	4.37	4.29	72.82	8.45	8.61	120.06
400	20.3	4.57	4.49	78.66	8.40	9.35	116.20
400	16.8	4.57	4.50	64.90	8.40	7.72	140.83
500	29.6	4.92	4.82	99.14	8.31	11.92	99.32
500	22.2	4.92	4.84	73.97	8.31	8.90	133.11
500	25.4	4.92	4.83	84.82	8.31	10.20	116.08

На рис. 2 показано влияние начального радиуса пузыря r_0 на его сжатие $\Delta r_{20}=r_0-r_{20}$ за счёт растворения в данных термобарических условиях.

Таким образом, проведённые исследования показали возможность измерения скорости растворения метановых пузырей с использованием хроматографического анализа. Альтернативный, более сложный метод высокоскоростной визуализации [3], даёт данные такого же порядка. Предложенная методика применима для измерения скорости растворения газовых пузырей, находящихся в покое, а также всплывающих пузырей в сложных жидкостях [4], таких как, например, растворы полимеров и ПАВ, а также суспензий микроволокон – главного компонента загрязнений океана микропластиками.

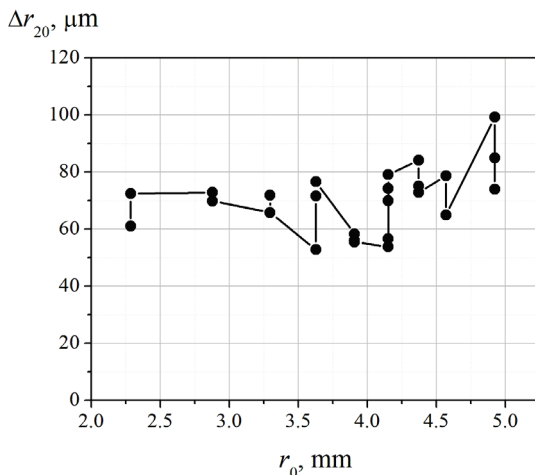


Рис. 2. Уменьшение радиуса пузыря метана $\Delta r_{20}=r_0-r_{20}$ после 20 всплытий, каждое на эффективном отрезке ≈ 0.1 м, в ёмкости 124 мл, как функция начального радиуса пузыря r_0 .

Полученные данные помогут предсказать историю всплытия и исчезновения глубоководных пузырей, когда изменение гидростатического давления управляет расширением пузырей и скоростью растворения газа в соответствии с законом Генри-Дальтона.

Статья подготовлена в рамках государственных заданий № ААА-А20-120011690131-7 и № 0128-2021-0005

ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков, А. М., Егоров, А. В. Об использовании методики фазово-равновесной дегазации при газометрических исследованиях // Океанология. - 1987. - Т.27. - №5. - С.861-862.
2. Чанцев, В. Ю. Анализ вертикального движения воздушно-пузырьковой завесы в воде // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. - 2017. - №.46. - С.64-70.
3. Warzinski, R. P., Lynn R., Haljasmaa, I., Leifer, I., Shaffer, F., Anderson, B. J., Levine, J. S. Dynamic morphology of gas hydrate on a methane bubble in water: Observations and new insights for hydrate film models, // Geophys. Res. Lett. – 2014. - V.41. - P.6841–6847.
4. Рожков, А. Н. Динамика и разрушение упруговязких жидкостей (обзор) // Известия РАН. МЖГ. - 2005. - №6. - С. 3-24.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАТЧИКА МЕТАНА ДЛЯ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСНЫХ ВОД ПО ХОДУ СУДНА

Егоров А.В.¹, Рожков А.Н.²

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

² *Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН,
пр. Вернадского, 101 (к.1), 119526, г. Москва, 8(495)434-33-52,
rozhkov@ipmnet.ru*

USING A METHANE SENSOR TO PROFILE SURFACE WATER AROUND THE VESSEL

Egorov A.V.¹, Rozhkov A.N.²

¹ *Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospekt, Moscow, 117997*

² *Institute for Problems in Mechanics. A.Yu. Ishlinsky RAS,
Vernadsky Ave., 101 (building 1), 119526, Moscow*

Описана методика получения непрерывных профилей содержания метана в поверхностных водах по ходу судна с помощью датчика метана METS. Приведены некоторые результаты профилирования акватории Карского моря.

The technique for obtaining continuous profiles of methane content in the surface waters along the course of the vessel using the methane sensor METS is described. Some results of profiling obtained in the water area of the Kara Sea are presented

Две важнейшие проблемы определяют актуальность определения концентрации метана в поверхностных слоях Мирового океана. Первая проблема – это установление факторов, ответственных за движение метана на Земле. Метан – парниковый газ, его концентрация в атмосфере влияет на тепловой баланс Земли. Наблюдаемый в настоящее время непрерывный рост концентрации метана в атмосфере может быть одной из причин предполагаемого глобального потепления на Земле. Поиск причин роста концентрации метана неизбежно сводится к выявлению источников выхода метана в атмосферу и оценки их

интенсивности. Одним из важнейших источников может быть поверхность Мирового океана, причём не на всём своём протяжении, а лишь в некоторых локализованных областях [1-4]. Действительно, если нет интенсивного движения метана к поверхности из глубинных вод, а это стандартная ситуация, то метан может поступать в воду в результате растворения атмосферного метана, а также образовываться в воде благодаря жизнедеятельности микроорганизмов, приносится латеральными течениями и выходит в атмосферу.

Дело существенно меняется в случае, когда на дне имеются интенсивные выходы метана. Благодаря повышенной концентрации метан с поверхности моря интенсивно диффундирует в атмосферу, внося определённый вклад в метановый баланс земной атмосферы. Для того чтобы ответить на вопрос о том, как велик этот вклад, необходимо знать где, как широко, и с какой концентрацией насыщенные метаном воды выходят на поверхность Мирового океана.

Вторая проблема - это поиски месторождений нефти и газа, связанные с повышенной концентрацией метана в поверхностных водах.

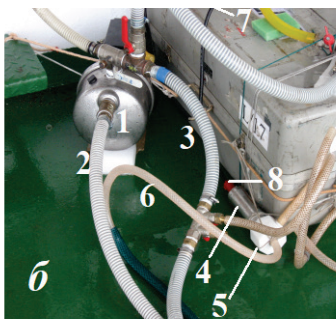


Рис. 1. Фрагмент системы непрерывного отбора заборной воды «Протока» с подключенным датчиком метана METS: 1 – насос системы, 2 – входная труба насоса, 3 – выходная труба насоса, 4 – корпус датчика, 5 – проточная камера датчика с чувствительным элементом, 6 – труба вывода воды за борт судна, 7 – электрический кабель, 8 – разъём подключения электрического кабеля к датчику.

Наилучшим образом знания о поверхностном распределении метана могут быть получены путём непрерывного сканирования поверхности акватории датчиком концентрации метана. Для этого необходим непрерывный забор воды по ходу судна, разработанный под руководством П.О. Завьялова [5]. Система состоит из насоса и системы

трубопроводов.

Нами опробовался датчик метана марки METS, производства Franatech GmbH, Luneburg, Germany, от российского дистрибьютора «Геоматика».

Чувствительный элемент датчика (детектор) является полупроводником. Адсорбция углеводородов на активном слое ведёт к обмену электронами с кислородом и таким образом изменяет проводимость активного слоя, которая, в свою очередь, конвертируется в напряжение.

Достоверность измерений датчика подтверждена сравнением показаний датчика и результатов хроматографического анализа для проб воды, отобранных в одном и том же источнике. Уровень расхождения не превышает 10-20 % для концентраций больше 10 нМ. Дискретность вывода данных составляет 1 нМ. Поэтому точность при малых концентрациях порядка 3 нМ не может быть выше 30%. Датчик обладает определённой инертностью в выводе данных. Экспериментально установлено, что требуется примерно 15 - 20 минут, для того чтобы данные вышли на постоянный уровень.

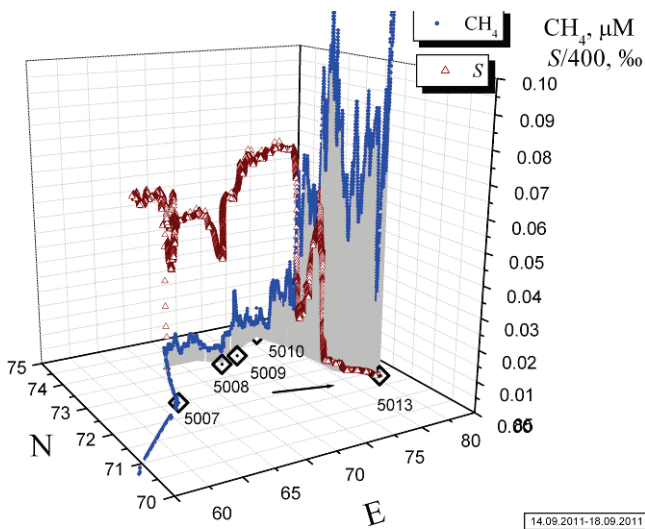


Рис. 2. Пример корреляции между метаном солёностью

В Карском море датчик метана работал почти непрерывно совместно с CTD зондом. Текущие значения концентрации метана,

текущее судовое время и ряд других параметров записывались синхронно в файл данных с интервалом 15 сек, для согласования с другой группой исполнителей. Пример графической записи метана и солености в эстуарии Енисея представлен на рис.2.

Обычно продолжительность записи одного файла данных не превышала 12 часов. Как только запись файла прекращалась, для записи данных открывался новый файл, что обеспечивало непрерывную запись данных в последовательность относительно небольших файлов.

Статья подготовлена в рамках государственных заданий № АААА-А20-120011690131-7 и № 0128-2021-0005.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Bogdanov Yu.A., Sagalevich A.M., Lein A.Yu., Egorov A.V., Peresyphkin V.I., Gebruk A.V., Voitov D.V., Vogt P.R., Mienert J., Sundvor E., Crane K., Cherkashev G.A., Ginsburg G.D. The Naakon Mosby mud volcano in the Norwegian sea: results of multidisciplinary studies with manned submersibles. *Oceanology*. 1999. Т. 39. № 3. С. 374-380.
2. Егоров А.В., Нигматулин Р.И., Римский-Корсаков Н.А., Рожков А.Н., Сагалевиц А.М., Черняев Е.С. Разрушение глубоководных метановых пузырей // *Океанология*. 2010. Т. 50. №4. С. 505-514.
3. Егоров А.В., Римский-Корсаков Н.А., Рожков А.Н., Черняев Е.С. Первый опыт транспорта глубоководных гидратов метана в негерметичном контейнере // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 2. С. 376-382.
4. Егоров А.В., Нигматулин Р.И., Рожков А.Н., Сагалевиц А.М., Черняев Е.С. О превращениях глубоководных метановых пузырей в гидратный порошок и гидратную пену // *Океанология*. 2012. Т. 52. № 2. С. 213.
5. Завьялов П.О., Ижицкий А.С., Осадчиев А.А., Пелевин В.В., Грабовский А.Б. Структура термохалинных и биооптических полей на поверхности Карского моря в сентябре 2011 г. // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 4. С. 514.

УДК: 553.981

**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОДЕРЖАНИЯ
МЕТАНА В ЗОНЕ СМЕШЕНИЯ ВОД РЕКИ ПРЕГОЛЯ И
БАЛТИЙСКОГО МОРЯ**

Кудрявцева Е.А., Егоров А.В.

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

**METHODS FOR STUDYING THE VARIABILITY OF METHANE
CONTENT IN THE MIXING ZONE OF THE PREGOLYA RIVER AND
THE BALTIC SEA**

Kudryavtseva E.A., Egorov A.V.

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,
Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

Описывается методика проведения исследования распределения растворенного метана в поверхностных водах методом фазово-равновесной дегазации. Представлены результаты исследований в водах реки Приголя, Балтийского моря, Вислинского и Куршского заливов.

The paper describes a method for studying the distribution of dissolved methane in surface waters by head-space technique. The results of studies in the waters of the mixing zones of the Pregolya River, the Baltic Sea, the Vistula and Curonian Lagoons are presented.

Данные по концентрации растворенного метана представляют интерес для геолого-геохимических и биогеохимических исследований, а также в связи с глобальными изменениями климата и накоплением парниковых газов в атмосфере [1, 2]. Целью данной работы было получить количественные оценки содержания растворенного метана в водах зоны смешения речных и морских вод в районе Балтийского моря, Вислинском и Куршском заливах и реке Преголя.

Исследования проводили в октябре 2016 г. и в апреле, мае, июне и сентябре 2017 г. Пробы отбирали в нижнем течении реки Преголя на станциях, последовательно расположенных по направлению к устью

реки от начала города Калининграда до его конца (рис. 1). Пробы зачерпывали ведром с берега с глубины около 0,5 м. Река Прегола впадает в Вислинский залив, который соединяется с Балтийским морем Калининградским морским каналом в районе города Балтийск. Здесь пробы отбирали с северного берега канала (ст. 6-13). В октябре 2016 г. пробы были отобраны также на южном берегу канала на симметрично расположенных станциях: на оконечности молов, вдающихся в море, в середине канала и со стороны залива. В июне 2017 г. с борта лодки были отобраны пробы поверхностной воды в фарватере канала. На морском побережье Самбийского п-ва и Куршской косы пробы отбирали в городах Светлогорск (ст. 14), Зеленоградск (ст.15), посёлке Лесной (ст. 16) и в центральной части косы в районе расположения дюны Эфа (ст. 21). По аналогичной схеме производился отбор проб в прибойной зоне со стороны Куршского залива (ст. 18, 20, 22). Ст. 16 находилась в небольшой гавани города Зеленоградска, соединённой с заливом каналом. Кроме того, летом 2017 г. была отобрана проба воды в заболоченном озере Чайка на Куршской косе (ст. 19).

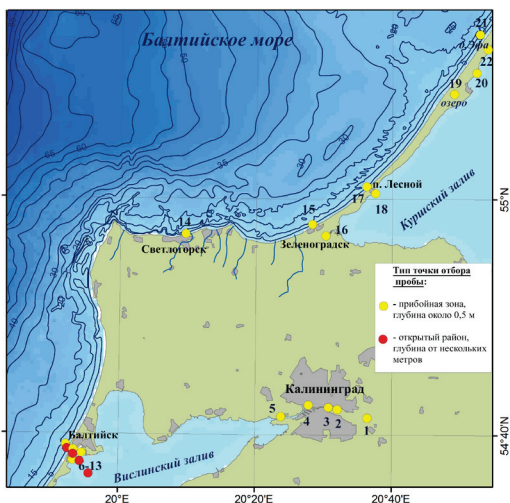


Рис. 1. Расположение станций отбора проб

Концентрацию растворенного метана определяли методом фазово-равновесной дегазации [1]. Пробы воды помещали в пенициллиновые флаконы объёмом 30 мл с 0.1 мл 2 н КОН для подавления микробных процессов. Затем дозатором выдавливали одинаковый объём воды и герметично закрывали. В лаборатории содержание метана в газовой фазе определяли на хроматографе

«Газохром» с ионизационно-пламенным детектором.

Диапазон концентраций растворенного метана в период наблюдений составил 9-17036 нМ/л. Наибольшее значение было измерено в лесном озере на Куршской косе. Давно известно, что поступление и гниение на дне болот огромного количества растительных остатков сопровождается обильным выделением метана. Наименьшие величины содержания растворенного метана во все месяцы отмечались на станциях, расположенных в прибойной зоне Балтийского моря. На морском побережье в районе Светлогорска и дюны Эфа (ст. 14 и 21) не было выявлено каких-либо сезонных колебаний концентрации газа. Во все месяцы измеренные значения составляли 9-20 нМ/л. В октябре 2017 г. у основания Куршской косы (ст. 15 и 17) отмечалось заметное увеличение содержания метана в морской воде (148-207 нМ/л) относительно его содержания в остальные месяцы (10-14 нМ/л). Это совпало со временем строительства на шельфе в Зеленоградском районе морского терминала для приёма сжиженного газа.

На три порядка изменялись концентрации метана в эвтрофированном Куршском заливе [3] в районе дюны Эфа (9-1218 нМ/л). Экстремальные значения указанного диапазона были измерены в октябре 2016 и 2017 гг. Донные осадки в районе дюны сложены песчаными отложениями, а сама дюна со стороны залива слабо покрыта растительностью. По-видимому, большое влияние на содержание метана в этой части залива имеет горизонтальный перенос и направление ветровых течений. Доказательством этого служат значительное увеличение концентрации метана во все месяцы на соседней ст. 20 (130-2870 нМ/л), расположенной на берегу густого леса, и разнонаправленный сезонный ход концентрации метана на обеих станциях. В юго-западной части Куршского залива в посёлке Лесной (ст. 18) и гавани яхт-клуба города Зеленоградска (ст. 18) пробы были отобраны с бетонных пристаней, где расстояние ото дна превышало 1 м. Согласно визуальным наблюдениям донные отложения представлены заиленными песками. Содержание метана в поверхностных водах обеих станций возрастало в тёплый период года и снижалось в холодный. Концентрация газа в гавани во все сезоны была на порядок выше (595-1556 нМ/л), чем в посёлке Лесной (54-949 нМ/л).

Изучение распределения концентрации растворенного метана в Калининградском морском канале показало увеличение содержания газа от морских молов (9-56 нМ/л) до конца канала на стороне залива (203-1082 нМ/л). В октябре 2016 г. дул крепкий западный ветер и не было выявлено существенной разницы в содержании метана между

симметрично расположенными станциями у северного и южного берегов канала. В июне 2017 г. диапазон значений для разреза составил 25-31 нМ/л. Концентрации метана в районе фарватера канала и у его берега, укрепленного гранитом и бетоном, также были одинаковыми. В то же самое время содержание метана в центре гаваней порта Балтийск было на два порядка выше (1082-1866 нМ/л). При безветренной погоде преобладают вертикальные потоки восстановленных соединений из осадка в воду и из воды в атмосферу. Полученные результаты свидетельствуют о том, что гавани порта являются крупными источниками поступления метана в воду в районе морского канала.

Измеренные концентрации метана на речных станциях, как и в районе канала и в южной части Куршского залива, в целом, возрастали от весны к лету и снижались осенью. Наименьшие значения (157-2063 нМ/л) были измерены в верхнем течении реки Преголя до начала города (ст. 1) и за чертой города в нижнем течении реки (297-1169 нМ/л; ст. 5). Диапазон значений концентрации метана в центре города составил 720-8838 нМ/л. Между этими станциями они незначительно различались в отдельные съёмки. Однако, проведённые в сентябре 2017 г. на ст.2. исследования выявили значительную суточную изменчивость. Диапазон значений для 17 дней непрерывных наблюдений составил 793-6674 нМ/л. Вероятно они могут объясняться различиями в ветровых условиях, при которых производился пробоотбор, а также изменением направления течения реки.

Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН № 0128-2021-0005 и поддержана грантом РФФИ № 19-05-50090. Авторы благодарят А.А. Кудрявцева и Е.В. Богучарскую за помощь в сборе проб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков А.М., Егоров А.В. Об использовании методики фазово-равновесной дегазации при газометрических исследованиях в акваториях // Океанология. - 1987. - Т. 27. - №5. - С. 861-862.
2. Пименов Н.В., Ульянова М.О., Канапацкий Т.А., Мицкевич И.Н., Русанов И.И., Сигалевич П.А., Немировская И.А., Сивков В.В. Сульфатредукция, образование и окисление метана в поверхностных осадках Вислинского и Куршского заливов Балтийского моря // Микробиология. - 2013. - Т. 82. - №2. - С. 228-238.
3. Кудрявцева Е.А., Пименов Н.В., Александров С.В., Кудрявцев В.М. Первичная продукция и хлорофилл в юго-восточной части Балтийского моря в 2003-2007 гг. // Океанология. - 2011. - Т. 51. - № 1. - С. 33-41.

**ВЕРИФИКАЦИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ПОДСПУТНИКОВЫМИ/СУДОВЫМИ
ИЗМЕРЕНИЯМИ УГЛЕВОДОРОДОВ/НЕФТЕУГЛЕВОДОРОДОВ
В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ**

Александрова А.Г., Иванов А.Ю., Немировская И.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 7(499)124-13-01,
osh.morgeo@mail.ru*

**VERIFICATION OF REMOTE SENSING DATA BY SHIP
MEASUREMENTS OF HYDROCARBONS
IN THE BARENTS SEA**

A.G. Alexandrova, A. Yu. Ivanov, I.A. Nemirovskaya

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences IORAS, 36
Nahimovskiy pr., Moscow, 117997, 7(499)124-13-01
osh.morgeo@mail.ru*

Представлен совместный анализ результатов проведенного в период с 2015 по 2020 гг. радиолокационного спутникового мониторинга Баренцева моря с данными судовых/подспутниковых измерений у дна (2015 - 2020 гг.).

The results of satellite radar monitoring of oil spills in the Barents Sea and the results of ship measurements of hydrocarbons (HC) in near-bottom layer (2015-2020) are correlated.

С учетом природного углеводородного фона в составе (УВ) могут присутствовать техногенные компоненты, попадающие в водную среду и в донные осадки с нефтью и нефтепродуктами при загрязнении ими акваторий. Изучение распределения (УВ) в донных осадках Баренцева становится актуальной и необходимой задачей для геоэкологического контроля при разведочных и добычных работах и государственного экологического мониторинга. В связи увеличением объемов транспортировки нефти с добычных проектов в обнаружении, в мониторинге и контроле нефтяных загрязнений моря все более важное значение приобретает применение радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА). В рамках радиолокационного мониторинга,

проведенного ИО РАН/СКАНЭКС для оценки современного уровня загрязнения Баренцева моря, были получены спутниковые данные с европейских спутников серии Sentinel-1, и Sentinel-1B с радиолокаторами РСА, позволяющими получать РЛИ морской поверхности всепогодно, что является очень важным преимуществом в физико-географических условиях данного моря.

Для работы с данными радиолокации использовалась веб-ГИС приложение «Геомиксер» (разработки ГК «Сканэкс») и специально созданный для этих целей баренцевоморский геопортал, который был пополнен детальными данными батиметрии и данными автоматических систем идентификации судов (АИС) для полноценного анализа. Возможности геопортала позволяют эффективно использовать преимущества ГИС-подхода для выявления источников пленочных загрязнений моря, благодаря объединению различных данных (разновременные РЛИ, данные о ветре и АИС), интерактивной тематической обработке и анализу.

Подспутниковым материалом для данного исследования послужили данные, полученные в экспедициях НИС «Академик Мстислав Келдыш» 2016-2020 гг. [1], национального научно-исследовательского проекта «ТРАНСАРКТИКА-2019» в рамках четырех крупных комплексных экспедиций на НИС «Академик Трешников» (этап I с 20 марта по 28 мая 2019г), НЭС «Михаил Сомов» (этап II), НИС «Профессор Молчанов» (этап III) и НИС «Профессор Мультиановский» (этап IV) [2], а также иные материалы, предоставленные профильными организациями: ГОИН, ФГБУ «ВНИИОкеангеология», ФГБУ «ВСЕГЕИ», ЦМИ «МГУ».

Интерполяция производилась методом Kriging в программе Surfer. Выполнена оценка контрастов (совпадений) нефтяных сликов по РЛИ и подспутниковым данным.

Путем совмещения карт пленочных загрязнений и карт распределения концентраций углеводородов по результатам контактных измерений, а также по их положению относительно основных источников загрязнения (терминалов, месторождений, промыслов) и группировки обнаруженных пятен и максимумов, определены зоны, требующие повышенного внимания. На рис. 1а-1б показаны наиболее типичные примеры обнаруженных пятен крупных пленочных загрязнений различного происхождения. Фактическое распределение пленочных загрязнений наглядно представлено на сводной карте [подробнее см. 3], проанализировано их пространственно-временное распределение.

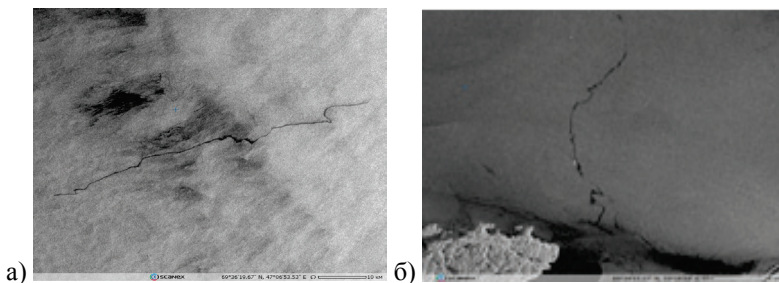


Рис. 1а. Крупные пятна пленочных загрязнений (судовые разливы) в российском секторе моря. 7.08.2017 (03:49 UTC) (длина 81.3 км, площадь 29.5 км²); © ESA и

Рис. 1б. Пятна пленочных загрязнений 9.08.2018 (04:30 UTC) судовой разлив в территориальных водах РФ на подходах к Кольскому заливу (длина около 34 км, площадь 3.2 км²) [4]

По полученным результатам совместный анализ позволил верифицировать данные космической радиолокационной съемки, установив достаточно хорошее соответствие (рис. 2).

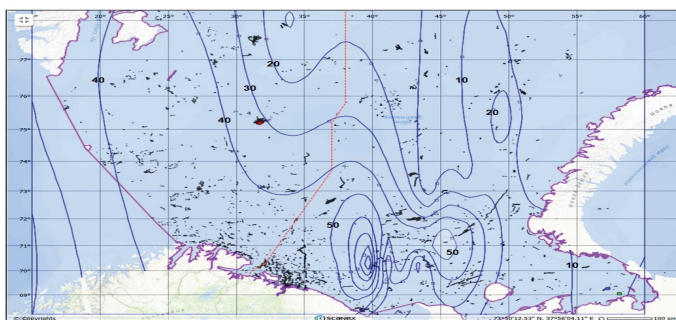


Рис. 2. Распространение пятен пленочных загрязнений (черные пятна) совмещенное с картой содержания углеводов у дна по данным судовых измерений (изолинии)

Распределение пятен загрязнений имеет свои специфические особенности и может зависеть от ряда причин и одной из определяющих является положение судоходных трасс и рыболовных зон. Анализ формы обнаруженных пятен, концентрация пятен вдоль судоходных трасс и относительно расположения крупнотоннажных судов усиленного ледового класса (по данным АИС сервиса)

указывают, что наибольшая загрязненность поверхности моря нефтяными пленками тяготеет к основным судоходным трассам.

На основе радиолокационной съемки реализуется мониторинг загрязнения вод российских морей, а также естественных нефтепроявлений, и прежде всего, в районах нефтедобычи на шельфе.

В настоящее время область практического применения радиолокационных данных для идентификации загрязнений, обусловленных нефтью и нефтепродуктами, представляется возможным расширить при продолжающемся увеличении группировки спутников ДЗЗ, причем особое внимание следует уделить объектам МНГК в Печорском море, акваториям портов, Кольскому заливу.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-55-20010). Радиолокационные данные спутников Sentinel-1A и Sentinel-1B были предоставлены ГК "СКАНЭКС", оригинальные исключительные права на которые принадлежат Европейскому космическому агентству (ESA). Экспедиции – в рамках госзадания Минобрнауки России (тема 0149-2019-0007), геохимические исследования и обобщение материалов при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-17-00234).

ЛИТЕРАТУРА

1. Немировская И.А., Александрова А.Г., Храмова А.В. Изучение углеводородов в четвертичных осадках Норвежского и Баренцева морей в рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш» (2016-2020 гг.). Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. Выпуск 7, 2020.
2. Коршенко А.Н., Чекменева Н.А., Жохова Н.В., Погожева М.П., Кирьянов В.С. Современный уровень загрязнения Баренцева моря (ПРОЕКТ «ТРАНСАРКТИКА-2019»). Сб. материалов II всеросс. научной конф. Экосистемы и климат Арктической зоны», 2020. С. 679-692.
3. Кучейко А.Ю., Иванов А.Ю., Евтушенко Н.В., Филимонова Н.А., Терлеева Н.В. Ивонин Д.В., Александрова А.Г. Пленочные загрязнения Баренцева моря по данным радиолокационного мониторинга 2017-2019 гг. // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 7. С. 48-55.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А		З	
Александрова А.Г.	284	Зацепин А.Г.	175
Алескерова А.А.	79, 82	Зверев А. С.	187, 191
Амбросимов А.К.	50, 54, 212, 216	Зельнюк А.А.	26
Анисимов И.М.	228, 232, 236	И	
Анисимов М.В.	147, 171, 173	Иванов А.Ю.	284
Артемьев В.А.	95	Иванов В.Н.	179
Б		Илларионов С.В.	170, 171, 173
Белоненко Т.В.	88	К	
Боев А.Г.	250	Калинина В.И.	91
Бондаренко А.Л.	14, 30	Каминский Д.В.	263
Бохойо Ф.	195	Кенигсбергер Г.В.	85
Бреховских А. Л.	187, 191, 195	Кловиткин А.А.	105
Буланов В.А.	239	Клюев М. С.	187, 191, 195
Булатов В.В.	139	Ковалев Г.А.	54
Бурдиян Н.В.	247	Ковачев С.А.	179, 183, 201, 205
Бышев В.И.	147	Козина Н.В.	250
В		Коллигаев О.А.	99
Василенко Н.В.	79, 82	Коллигаев С.О.	99
Вергун А.П.	160	Кондрашов А.А.	267
Владимиров Ю.В.	139	Конешов В.Н.	151
Воронов М.А.	263	Коновалов Б.В.	170, 171, 173
Г		Кориненко А.С.	68
Гаврилов А.В.	255, 259	Кочетов О.Ю.,	267
Газенко А.О.	170, 171, 173	Кременецкий В.В.	124
Галиндо-Зальдивар Х.	195	Крылов А.А.	179, 183, 201, 205
Ганжа О.Ю.	205	Кубряков А.А.	68, 79, 82
Гончаров В.В.	143	Кудряцева Е.А.	280
Григорчук А.В.	263	Курьянов Б.Ф.	143
Григорьев А.В.	95	Кучейко А.А.	259
Гринберг О.В.	195	Л	
Гусев А.В.	147	Лебедев К.В.	42, 46
Д		Левченко Д. Г.	224
Дара О.М.	250	Лесин А.В.	228, 232, 236
Е		Лискин В.А.	243, 245
Евсенко Е.И.	195	Лишаев П.Н.	68
Егоров А.В.	179, 201, 205, 243, 245, 271, 276, 280	Лобанов В.Б.	38
Ермаков Д.М.	166		
Ж			
Железняк Л.К.	151		
Жолондз А.С.	197		

М

Маклаков С.М.	166
Малахова В.В.	255
Малеханов А.И.	91
Малин В.Б.	263
Медведев И.П.	124
Медведева А.В.	79, 82
Миронюк С.Г.	220
Миронюк С.Г.	183
Михайлов П.С.	151
Моралес Ц.	195
Морозов П.А.	155
Мустафина Ф.И.	209
Мутовкин А.Д.	236

Н

Насонов Д.А.	263
Недоспасов А.А.	115, 120, 124, 129
Немировская И.А.	284
Новиков Б.Н.	68
Новоселова Е.В.	8

О

Островский А.Г.	75, 105, 267
Очередник В.В.	115, 124

П

Перескоков А.И.	70
Пижанкова Е.И.	255, 259
Писарев С.В.	155, 160
Плотников Е.В.	68
Погорелов В.В.	151
Подымов О.И.	75, 175
Попов О.Е.	85, 111
Поярков С.Г.	115, 120, 124, 129
Примачев Е.В.	38
Пронин А.А.	236, 247

Р

Ракитин И. Я.	187, 191
Рейхард А.Г.	250
Рейхард Л.Е.	250
Реснянский Ю.Д.	26
Римский-Корсаков Н.А.	243, 245, 247
Рожков А.Н.	271, 276
Росляков А.Г.	220
Руссак Ю.С.	164

С

Савченко Е.В.	166
Сажнева А. Э.	187, 191, 195
Сербряный А.Н.	85, 111, 135, 143
Серых И.В.	64
Сидоров К.А.	91
Сидорова А.Н.	147
Смирнов И.П.	91
Соколов. В.А.	73
Соловьев В.Н.	151
Сонечкин Д.М.	64
Соседко Е.В.	239
Станичная Р.Р.	82
Станичный С.В.	68, 79, 82
Степанов В.Н.	26
Стецок И. В.	34
Струков Б.С.	26

Т

Таскаев В.Р.	95
Тимашкевич Г.К.	179
Тронза С.Н.	228
Трусенкова О.О.	38

Ф

Федоров А.М.	88
Федотов Г.А.	60
Филюшкин Б.Н.	42

Х

Хилько А.И.	91
Химченко Е.Е.	85, 105, 111
Хлебников Д.В.	170, 171, 173

Ч

Черкашев Г.А.	209
Чернушич А.П.	166

Ш

Шагравин А.В.	108
Швоев Д.А.	267
Шрейдер А. А.	187, 191, 195

Щ

Щевьев В. А	18, 22
Щелёткин А.Ф.	42

Ю

Юровский Ю.Ю.	68
---------------	----

Научное издание
Сборник

ISBN 978-5-6045110-1-5

DOI: 10.29006/978-5-6045110-1-5

«Современные методы и средства океанологических исследований»
(МСОИ-2021)

Материалы XVII Международной научно-технической конференции.

Том I.

Москва, Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, 2021. – 290 с.

Тираж 50 экз.

ISBN 978-5-6045110-1-5

ISBN 978-5-6045110-1-5



9 785604 511015

