

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ  
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ им. П.П. Ширшова РАН  
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
МГТУ им. Н.Э.Баумана**

**XVI ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ**



**«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА  
ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ»  
(МСОИ-2019)**

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

**Том I**

**МОСКВА 2019**

УДК 551.46.07  
ББК 26.221  
С232

*Редакторы:*

Н.А. Римский-Корсаков, Н.Ф. Тихонова

**С232 Современные методы и средства океанологических исследований** (МСОИ-2019). Материалы XVI всероссийской научно-технической конференции. Том I. – М.: ИД Академии Жуковского, 2019. — 256 с.

**ISBN 978-5-907081-81-9**

Книга содержит материалы конференции МСОИ-2019. 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, а также результаты применения современных информационных технологий.

Доклады опубликованы в авторской редакции.

Книга издана при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-05-20084).

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН на 2019 год (тема № 0149-2019-0011) при поддержке РФФИ (проект № 19-05-20084).

УДК 551.46.07  
ББК 26.221

**Modern methods and means of oceanological research.** Materials of the XVI national conference MSOI-2019. Vol. I. – М.: PH of the Academy named after N.E. Zhukovsky, 2019. – 256 p.

This publication contains materials 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 and modern information technologies use results.

ISBN 978-5-907081-81-9

© ИО РАН, 2019.

---

Подписано в печать 17.04.2019 г. Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 14,88.

Заказ № 55/1. Тираж 200 экз.

Изготовлено Издательским домом Академии имени Н. Е. Жуковского по заказу ИО РАН.

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского  
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., дом 6А

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ МСОИ-2019

- |    |                              |   |
|----|------------------------------|---|
| 1  | <b>Римский-Корсаков Н.А.</b> | д.т.н., заместитель директора по морской технике ИО РАН, председатель |
| 2  | <b>Нигматулин Р.И.</b>       | академик РАН, научный руководитель ИО РАН, сопредседатель             |
| 3  | <b>Акуличев В.А.</b>         | академик РАН  |
| 4  | <b>Лисицин А.П.</b>          | академик РАН, руководитель лаборатории                                |
| 5  | <b>Смирнов Г.В.</b>          | академик РАН, зав. лабораторией ИО РАН, сопредседатель                |
| 6  | <b>Лобковский Л.И.</b>       | чл. корр. РАН, руководитель направления ИО РАН                        |
| 7  | <b>Верещака А.Л.</b>         | чл. корр. РАН, руководитель лаборатории ИО РАН                        |
| 8  | <b>Нейман В.Г.</b>           | чл. корр. РАН, главный научный сотрудник ИО РАН                       |
| 9  | <b>Флинт М.В.</b>            | чл.-корр. РАН, заместитель директора ИО РАН                           |
| 10 | <b>Гулев С.К.</b>            | чл.-корр., д.ф.-м.н. руководитель лаборатории ИОРАН                   |
| 11 | <b>Завьялов П.О.</b>         | чл.-корр. РАН, заместитель директора ИО РАН                           |
| 12 | <b>Шевченко В.В.</b>         | к.г.-м.н. ВрИО зам. директора ИО РАН                                  |
| 13 | <b>Вельтищев В.В.</b>        | д.т.н., зав. кафедрой МГТУ им. Н.Э. Баумана                           |
| 14 | <b>Вялышев А.И.</b>          | д.ф.-м.н., главный научный сотр. ВНИИ ГОЧС МЧС РФ                     |
| 15 | <b>Сагалевиц А.М.</b>        | д.т.н., зав. лаб. ИО РАН, Герой России                                |
| 16 | <b>Мотыжѳв С.В.</b>          | д.т.н., руководитель научного направления МГИ, Севастополь            |
| 17 | <b>Добролюбов С.А.</b>       | чл.-корр., декан факультета МГУ                                       |
| 18 | <b>Вязилов Е.Д.</b>          | д.т.н., зав. лаб. ЦОД ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» Росгидрометцентра, Обнинск   |
| 19 | <b>Суконкин С.Я.</b>         | директор ОКБ ОТ РАН   |

## ОРГКОМИТЕТ МСОИ-2019

- |    |                              |  |
|----|------------------------------|--|
| 1  | <b>Соков А.В.</b>            | председатель, д.г.н.<br>врио директора ИО РАН            |
| 2  | <b>Римский-Корсаков Н.А.</b> | зам. председателя, д.т.н.,<br>зам. директора ИО РАН      |
| 3  | <b>Вельтищев В.В.</b>        | сопредседатель д.т.н.,<br>зав. каф. МГТУ им. Н.Э.Баумана |
| 4  | <b>Островский А.Г.</b>       | сопредседатель, к.г.н.,<br>вед.н.с. ИО РАН               |
| 5  | <b>Мокиевский В.О.</b>       | д.б.н., вед.н.с. ИО РАН                                  |
| 6  | <b>Гончаренко И.В.</b>       | к.г.н., вед.н.с. ИО РАН                                  |
| 7  | <b>Егоров А.В.</b>           | к.г.-м.н., зав.лабораторией<br>ИО РАН                    |
| 8  | <b>Свиридов С.А.</b>         | зав. отделом инф. технологий<br>ИО РАН                   |
| 9  | <b>Корчагин Н.Н.</b>         | д.ф.-м.н., гл.н.сотр. ИО РАН                             |
| 10 | <b>Метальников А.А.</b>      | ст.н.с., к.ф.-м.н. ИО РАН                                |
| 11 | <b>Карабашева Э.И.</b>       | научный сотрудник ИО РАН                                 |
| 12 | <b>Тихонова Н.Ф.</b>         | секретарь конференции                                    |
| 13 | <b>Каевицер В.И.</b>         | д.т.н., ФИРЭ им. Котельникова РАН                        |

### **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.

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

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### I. ГИДРОФИЗИКА

О климатических изменениях температуры Баренцева моря и их возможных причинах <i>Серых И.В., Костяной А.Г.</i> .....	11
Формирование и поддержание океанического термохалоклина конвекцией солевых пальцев <i>Перескоков А.И.</i> .....	15
Главные моды изменчивости вертикальной структуры вод над континентальным склоном в субарктической части Японского моря <i>Трусенкова О.О., Островский А.Г., Лазарук А.Ю., Лобанов В.Б.</i> .....	18
Основные подходы к восстановлению данных по температуре воды на разрезе «Кольский меридиан» в 2016–2017 гг. <i>Карсаков А.Л., Трофимов А.Г., Ившин В.А., Анциферов М.Ю.</i> .....	22
К 100-летию Вальтера Манка (Walter Munk) <i>Щевьев В. А.</i> .....	26
Связь крупномасштабной антициклонической циркуляции в Атлантике с атмосферной циркуляцией <i>Щевьев В. А.</i> .....	29
Динамика внутренних и поверхностных гравитационных волн при нестационарных режимах генерации <i>Булатов В.В., Владимиров Ю.В.</i> .....	32
Методика расчета индекса атмосферной циркуляции над Каспийским морем <i>Пронина Т.С., Татарников В.О.</i> .....	36
Мелкомасштабное моделирование гидрофизических полей Обской губы <i>Чанцев В.Ю., Гудошников Ю.П.</i> .....	40
О мониторинге циклонической и штормовой активности в Северной Атлантике на основе показателей ЕСИМО <i>Вязилова Н.А.</i> .....	44
Пределы сезонной изменчивости циклонического круговорота Среднего Каспия <i>Амбросимов А.К., Мельников В.А.</i> .....	47
Сезонная изменчивость придонных течений и температуры в субарктической части Атлантического океана за период годовых наблюдений 2016–2017 гг. <i>Амбросимов А.К., Мельников В.А., Ключиткин А.А.</i> .....	51
Оценка влияния гидрофизических параметров на эволюцию толщины ледяного покрова по данным моделирования в Арктике <i>Даньшина А.В.</i> .....	56
Опыт использования распределенных термопрофилемеров <i>Гайский В.А., Гайский П.В.</i> .....	60

Применение принципа наименьшего действия в определении абсолютных значений геострофических течений <i>Соколов В.А.</i> .....	63
Пульсирующие течения над хребтом Рейкьянес <i>Мельников В.А., Амбросимов А.К., Клювиткин А.А.</i> .....	65
Атлантические воды в Арктическом бассейне в условиях сократившегося ледяного покрова <i>Иванов В.В., Репина И.А.</i> .....	69
Автономный измеритель внутренних волн на основе распределенного датчика температуры <i>Серебряный А.Н., Денисов Д.М., Химченко Е.Е.</i> .....	71
Экспериментальное определение кинематических параметров нелинейных внутренних волн в прибрежной зоне приливного моря <i>Новотрясов В.В., Пермьяков М.С., Яроцук И.О.</i> .....	75
Океаническое явление Эль-Ниньо – Ла-Нинья и его влияние на процессы в атмосфере <i>Бондаренко А.Л.</i> .....	79
Исследование Гольфстрима по информации об океане, полученной из космоса <i>Бондаренко А.Л.</i> .....	84
Разностный метод определения аномалий солёности по результатам измерений SVP и CTD зондами <i>Греков А.Н., Греков Н.А., Сычев Е.Н.</i> .....	88
Результаты анализа данных эхо-сигнала донной станции ADCP, установленной в прибрежной зоне Черного моря, с целью изучения физических факторов, вызывающих его изменчивость <u><i>Пиотух В.Б.</i></u> <i>Мысленков С. А., Зацепин А. Г., Александрова А. Г., Соловьев Д.М.</i> .....	92
Пространственно-временная изменчивость инерционных движений в восточной части Черного моря <i>Дианский Н.А., Григорьев А.В., Зацепин А.Г., Кубряков А.И.</i> .....	93
О потоках тепла, импульса и энергии в прибрежной зоне моря при устойчивой стратификации <i>Навроцкий В.В.</i> .....	95
Перспективы использования стационарных стабилизированных буев для океанических исследований <i>Левченко Д.Г., Бадулин С.В., Зацепин А.Г., Ивонин Д.В., Вершинин В.В., Куклев С.Б., Островский А.Г.</i> .....	100
Инструментальные наблюдения каскадинга на склоне залива Петра Великого Японского моря <i>Лобанов В.Б., Сергеев А.Ф., Навроцкий В.В., Воронин А.А., Горин И.И., Павлова Е.П.</i> .....	104

Исследование влияния реверберации на эффективность когерентного сейсмоакустического зондирования дна в мелководных акваториях <i>Калинина В.И., Хилько А.И., Смирнов И.П., Уваров В.В., Курин В.В., Хилько А.А., Быстранов В.Б., Малеханов А.И.</i> .....	109
Применение инфракрасной пирометрии в изучении структуры стока реки Шахе в Черное море совместно с традиционными дистанционными и контактными методами <i>Хлебников Д.В., Иванов А.Ю., Коновалов Б.В., Соловьев Д.М., Терлеева Н.В.</i> .....	113
Влияние мелкомасштабной изменчивости скорости течения на звукоподводную связь в мелком море в осенних условиях <i>Шатравин А.В., Кочетов О.Ю.</i> .....	117

## **II. ГЕОЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА, РЕСУРСЫ**

Флуориметрический детектор в методе высокоэффективной жидкостной хроматографии для определения низких концентраций фенола в воде и донных отложениях акваторий <i>Халиков И.С., Пронин А.А.</i> .....	122
Акустическая структура донных осадков на западе моря Скотия <i>Шрейдер А.А., Сажнева А.Э., Клюев М.С., Бреховских А.Л., Евсенко Е.И., Гринберг О.В., Ракитин И.Я., Бохойо Ф., Галиндо-Зальдивар Х., Руано П., Мартос Я., Лобо Ф.</i> .....	126
Исследования ультраабиссали Мирового океана <i>Сагалевиц А.М.</i> .....	129
Статистические результаты исследований современных движений земной коры Азово-Черноморского побережья России <i>Подымов И.С., Подымова Т.М.</i> .....	136
Об изучении структуры верхнего слоя осадков на озере Сенница методом параметрического профилографа со спутниковой навигацией <i>Бреховских А.Л., Вольтер Е.Р., Гринберг О.В., Евсенко Е.И., Захаров Е.В., Клюев М.С., Косьян Р.Д., Куклев С.Б., Сажнева А.Э., Мазуркевич А.Н., Ольховский С.В., Шрейдер А.А.</i> .....	140
Палеоструктуры реки Ашамба в геоморфологии дна Голубой бухты по данным параметрического профилографа со спутниковой навигацией <i>Бреховских А.Л., Вольтер Е.Р., Гринберг О.В., Евсенко Е.И., Захаров Е.В., Клюев М.С., Косьян Р.Д., Куклев С.Б., Сажнева А.Э., Мазуркевич А.Н., Ольховский С.В., Шрейдер А.А.</i> .....	144
Землетрясение в Азовском море в 2018 году: анализ связанных с ним флуктуаций радона в атмосфере и оценка энергии колебаний земной	

поверхности, достигших крымский мост <i>Подымова Т.М., Подымов И.С.</i> .....	148
Использование гидроакустических методов для идентификации заглушенных подводных скважин <i>Дмитревский Н.Н., Ананьев Р.А., Мелузов А.А., Шабалин Н.В., Ремизова Д.М.</i> .....	152
Полициклические ароматические углеводороды в макрофитах озера Байкал <i>Халиков И.С., Лукьянова Н.Н., Пронин А.А.</i> .....	156
Лабораторный измеритель прозрачности водных растворов <i>Артемьев В.А., Таскаев В.Р.</i> .....	160
Распределение метана и его потоки в системе вода-атмосфера на Восточно-Индийском хребте в рейсе № 42 НИС «Академик Борис Петров» <i>Яцук А.В., Мишукова Г.И., Югай И.Г.</i> .....	164
Применение лазерной искровой спектроскопии в ультразвуковом поле для изучения воды и водных растворов <i>Буланов А.В., Нагорный И.Г.</i> .....	168
Разработка флуориметра для определения прижизненной флуоресценции хлорофилла-а и растворенного кислорода на основе цифрового фотоаппарата <i>Поважный В.В.</i> .....	171
Сейсмическое микрорайонирование площадки Абрау-Дюрсо (Черное море) <i>Ковачев С.А.</i> .....	175
Голоценовая история и рельеф западного шельфа Крыма <i>Кортаев В.Н., Мысливец В.И., Поротов А.В., Иванов В.В.</i> .....	179
Использование новейших технологий в исследовании осадочной толщи и рельефа дна западного шельфа Крыма <i>Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А., Анисимов И.М., Белевитнев Я.И., Мutowкин А.Д.</i> .....	183
Сейсмоакустические исследования западного шельфа Крыма <i>Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А., Кортаев В.Н., Мысливец В.И., Поротов А.В.</i> .....	188
Методы и средства обнаружения и исследования газовых гидратов <i>Егоров А.В., Римский-Корсаков Н.А., Лискин В.А.</i> .....	192
Организация мониторинга акваторий в сегменте придонных исследований <i>Лискин В.А., Римский-Корсаков Н.А.</i> .....	196
Создание инструментальных средств для исследований химических потоков вещества в придонной области акваторий <i>Римский-Корсаков Н.А., Лискин В.А., Егоров А.В.</i> .....	198

Методические особенности исследования метана в акваториях <i>Егоров А.В., Римский-Корсаков Н.А.</i> .....	201
Методы температурных и газометрических исследований в зоне повышенной термальной активности озера Байкал <i>Егоров А.В., Рожков А.Н.</i> .....	202

### III. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Технология систематического анализа обстановки в Арктике <i>Гитис В.Г., Дерендяев А.Б., Петров К.Н., Вайниток А.П.</i> .....	206
О возможности оценки гидролого-акустических условий на основе анализа числовых последовательностей <i>Гасников О.А.</i> .....	211
Программные средства визуализации и постпроцессорной обработки данных гидроакустических биоресурсных исследований «ТИНРО-центра» <i>Убарчук И.А., Кузнецов М.Ю., Поляничко В.И.</i> .....	215
Гидрометеорологическое обслуживание средствами ЕСИМО <i>Вязилов Е.Д., Михайлов Н.Н.</i> .....	219
Полигон мониторинга морской поверхности <i>Руссак Ю.С., Тихонова Н.Ф., Дорошенко С.Ю.</i> .....	223
«Multi-Vox» – универсальная система сбора данных от нескольких измерительных приборов <i>Григорьев А.В., Артемьев В.А.</i> .....	229
Современный климат и его особенности <i>Бышев В.И., Серых И.В., Анисимов М.В., Сидорова А.Н.</i> .....	233
Новые методы и средства гидрометеорологического обеспечения морской деятельности в Арктике <i>Данилов А.И., Смирнов В.Г., Миронов Е.У.</i> .....	237
Автоматическая классификация подводных потенциально опасных объектов <i>Артюхин В.В., Вялышев А.И., Добров В.М., Любин Ю.Н.</i> .....	239
Программное обеспечение профилирующих зондов на базе унифицированной платформы управления <i>Кочетов О.Ю.</i> .....	247
Возможность повышения точности автоматической классификации треков судов в отраслевой системе мониторинга Росрыболовства с помощью методики выявления периодов сближения судов <i>Белоконь З.С., Василец П.М., Дегай А.Ю., Пырклов В.Н.</i> .....	247
Алфавитный указатель .....	255

## **ДОКЛАДЫ**

## И. ГИДРОФИЗИКА

УДК 551.465

### **О КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЯХ ТЕМПЕРАТУРЫ БАРЕНЦЕВА МОРЯ И ИХ ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИНАХ**

**Серых И.В., Костяной А.Г.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(916)114-09-69, iserykh@ocean.ru*

Анализ среднемесячных значений температуры Баренцева моря на различных глубинах показал её существенный рост за последние десятилетия. На фоне этого роста обнаружены колебания температуры с периодами близкими к периодам Эль-Ниньо – Глобальной атмосферной осцилляции, Северо-Атлантического колебания и изменениям Северо-Атлантического течения. Анализ среднесуточных значений температуры поверхности Баренцева моря показал рост амплитуды, количества и продолжительности экстремальных температурных явлений с положительным знаком и сокращение экстремальных температурных явлений с отрицательным знаком за период спутниковых наблюдений.

Analysis of the monthly average data on the temperature of the Barents Sea at various depths showed its significant growth over the past decades. Along with this growth, fluctuations of the temperature were found with periods close to the periods of the El Nino – Global Atmospheric Oscillation, the North Atlantic Oscillation, and changes in the North Atlantic Current. Analysis of the average daily data on the surface temperature of the Barents Sea showed an increase in the amplitude, quantity and duration of extreme temperature phenomena with a positive sign and a reduction in extreme temperature phenomena with a negative sign over the period of satellite observations.

Для современного климата Земли характерен положительный тренд изменений глобальной приповерхностной температуры, связанный, как сейчас принято считать, с антропогенным фактором увеличения содержания парниковых газов в атмосфере. Наряду с этим, после удаления

сезонного хода, наблюдаются кажущиеся хаотичными изменения температуры, вызванные, по всей видимости, следующими естественными причинами. Во-первых, воздействием на климатическую систему таких внешних квазипериодических сил как: 11-летнее изменение солнечной активности [1], 14-месячное чандлеровское колебание полюсов Земли [2, 3], и 18.6-летнее лунно-солнечная нутация оси вращения Земли [4]. Во-вторых, следующими глобальными и региональными модами климатической изменчивости: Эль-Ниньо – Южное колебание [5, 6], Глобальная атмосферная осцилляция [7], Северо-Атлантическое колебание, Тихоокеанское мультideкадное колебание, Арктическое колебание и др. В-третьих, перераспределением тепла между верхним деятельным слоем океанов и атмосферой над континентами [8]. Все эти факторы могут оказывать влияние на региональные климатические изменения температуры Баренцева моря, исследованию которой и посвящена данная работа.

Анализировались среднемесячные данные температуры на 22 различных глубинах от 5 до 446 метров океанического ре-анализа ECMWF Ocean Reanalysis System 4 (ORAS4) на сетке  $1^\circ \times 1^\circ$  за период 1958–2017 гг. А также среднесуточные данные аномалий температуры поверхности океана (ТПО) NOAA OISSTv2 High Resolution Dataset на сетке  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  за период 1982–2017. Производилось усреднение данных для региона Баренцева моря ( $68^\circ$ – $80^\circ$  с.ш.;  $20^\circ$ – $55^\circ$  в.д.). В каждом узле сетки рассчитывался средний сезонный ход за рассматриваемый период, который затем вычитался из исходных данных для получения аномалий относительно сезонного хода. Линейные тренды рассчитывались методом наименьших квадратов.

На среднем поле температуры воды Баренцева моря на глубине 5 метров (рис. 1) хорошо виден заток и распространение на восток относительно теплых вод из Северной Атлантики вдоль Скандинавского побережья. Разница температур между западом и востоком Баренцева моря на широтах  $70^\circ$ – $75^\circ$  с.ш. составляет  $5^\circ\text{C}$ . В то время как на широтах  $75^\circ$ – $80^\circ$  с.ш. разница практически отсутствует.

Анализ данных показал существенный рост средней температуры Баренцева моря за последние 60 лет (Рис. 2), вызванный, по всей видимости, глобальным потеплением климата. Причем у поверхности температура росла быстрее, чем на глубине. Температура Баренцева моря увеличивалась в среднем на  $0.2^\circ\text{C}$  за 10 лет, и таким образом за 60 лет выросла более, чем на  $1^\circ\text{C}$ . Наиболее быстро температура росла в 2-х регионах Баренцева моря: ( $75^\circ$ – $77^\circ$  с.ш.;  $28^\circ$ – $35^\circ$  в.д.) и ( $73^\circ$ – $76^\circ$  с.ш.;  $45^\circ$ – $55^\circ$  в.д.) – вплоть до  $0.4^\circ\text{C}$  за 10 лет у поверхности. По всей видимости, это связано с сокращением площади морского льда в этих регионах.

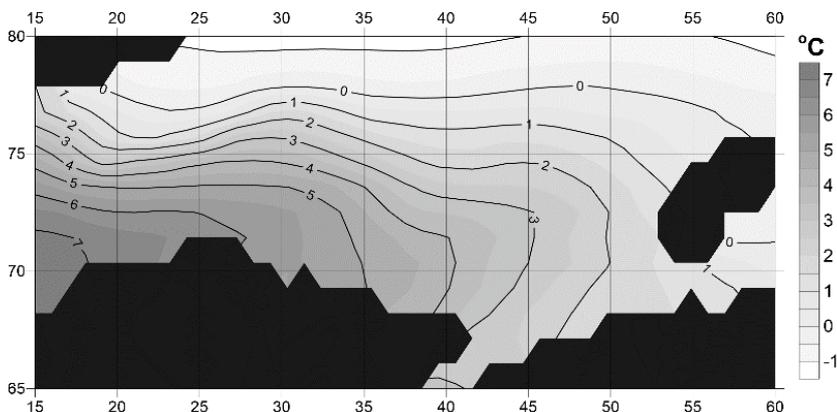


Рис. 1. Поле средней температуры Баренцева моря на глубине 5 метров по данным ORA-S4 за 1958-2017 гг.

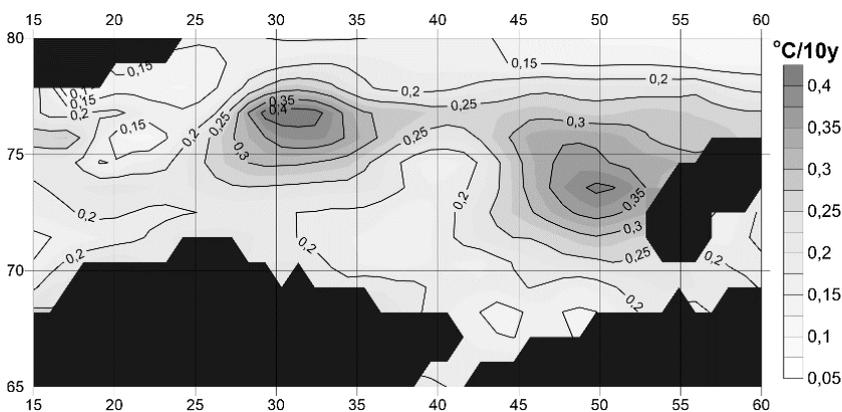


Рис. 2. Поле средних изменений температуры Баренцева моря ( $^{\circ}\text{C}$  за 10 лет) на глубине 5 метров рассчитанное по линейным трендам среднемесячных аномалий (относительно сезонного хода), полученных по данным ORA-S4 за 1958–2017 гг.

Расчет спектров и вейвлетных преобразований показал, что в межгодовой изменчивости выделяются периоды от 2 до 6 лет, от 8 до 10 лет и около 14 лет. Которые можно связать с Эль-Ниньо – Южным колебанием, Северо-Атлантическим колебанием и изменениями Северо-

Атлантического течения, соответственно. В работе [9] показано, что Эль-Ниньо – Южное колебание является элементом Глобальной атмосферной осцилляции (ГАО), что объясняет связь столь отдаленных регионов, как тропики Тихого океана и Баренцево море, а также возникновение соответствующих аномалий в Баренцевом море до начала событий Эль-Ниньо. Во время же событий Ла-Нинья (отрицательная фаза ГАО) в Баренцевом море наблюдаются положительные аномалии температуры.

Полученные результаты свидетельствуют о влиянии планетарных и региональных мод климатической изменчивости на межгодовые и междекадные изменения аномалий температуры Баренцева моря.

Работа выполнена за счет гранта РФФИ № 18-05-80065 «Анализ и прогнозирование опасных гидрометеорологических явлений в прибрежных районах Арктической зоны Российской Федерации».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Серых И. В.** О динамике и структуре Глобальной атмосферной осцилляции в климатических моделях и реальности // *Океанологические исследования*. – 2018. – Т. 46. – № 1. – С. 14-28.

2. **Серых И. В.** О влиянии полюсного прилива на Эль-Ниньо / Д. М. Сонечкин // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2016. – Т. 13. – № 2. – С. 44-52.

3. **Серых И. В.** О проявлениях движений полюсов Земли в ритмах Эль-Ниньо – Южного колебания / Д. М. Сонечкин // *Доклады Академии наук*. – 2017. – Т. 472. – № 6. – С. 716-719.

4. **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.

5. **Бышев В. И.** О проявлении эффекта Эль-Ниньо в Индийском океане / Ю. А. Иванов, В. Г. Нейман, Ю. А. Романов, И. В. Серых, В. Е. Складов, А. Д. Щербинин // *Доклады Академии наук*. – 2008. – Т. 418. – № 3. – С. 391-396.

6. **Бышев В. И.** О влиянии событий Эль-Ниньо на климатические характеристики Индоокеанского региона / В. Г. Нейман, Ю. А. Романов, И. В. Серых // *Океанология*. – 2012. – Т. 52. – № 2. – С. 165-175.

7. **Бышев В. И.** О статистической значимости и климатической роли Глобальной атмосферной осцилляции / В. Г. Нейман, Ю. А. Романов, И. В. Серых, Д. М. Сонечкин // *Океанология*. – 2016. – Т. 56. – № 2. – С. 179-185.

8. **Byшев V. I.** Multi-decadal oscillations of the ocean active upper-layer heat content / V. G. Neiman, M. V. Anisimov, A. V. Gusev, I. V. Serykh, A. N. Sidorova, A. L. Figurkin, I. M. Anisimov // Pure and Applied Geophysics. – 2017. – Vol. 174. – No. 7. – P. 2863-2878.

9. **Бышев В. И.** О глобальном характере явления Эль-Ниньо в климатической системе Земли / В. Г. Нейман, Ю. А. Романов, И. В. Серых // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т. 8. – № 4. – С. 200-208.

УДК 551.465.4

## **ФОРМИРОВАНИЕ И ПОДДЕРЖАНИЕ ОКЕАНИЧЕСКОГО ТЕРМОХАЛОКЛИНА 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*

Установлено, что именно в результате работы конвекции солевых пальцев происходит структурная макродеформация, благодаря которой переход от теплых и соленых поверхностных вод к нижележащим происходит не скачкообразно, а сравнительно постепенно, через стационарный переходный слой – океанический термохалоклин.

Consequently the structural macrodeformation happens as a result of work salt-finger convection. Due to this the transition from warm and salt surface waters to deeper ocean layers occurs not very rapidly but comparatively gradually through the fixed transition layer — oceanic thermohalocline.

Работа концентрируется на одной из центральных проблем физической океанологии – формировании и поддержании стационарного термохалинного пограничного слоя в океане или **океанического термохалоклина**.

Цель работы – поиск на материалах натуральных наблюдений убедительных свидетельств макромасштабного структурного эффекта дейст-

вия в толще океана доминирующего механизма переноса соли и тепла вниз из слоев с повышенным соле- и теплосодержанием, каковым является термохалинная конвекция типа солевых пальцев. Потенциальную возможность такого переноса можно оценить с помощью плотностного соотношения  $R\rho = ES / E\theta$ , где  $ES$  и  $E\theta$  – соответственно солевой и термический компоненты суммарной гидростатической устойчивости в виде квадрата частоты Вейсяля-Брента  $N^2$ . Солевые пальцы могут развиваться при значениях  $-1 \leq R\rho \leq -0,1$ .

Необходимая идеология для рассмотрения связи этого мелкомасштабного явления с крупномасштабными подготовлена исследованием К. Н. Федорова эффективности различных механизмов перемешивания в толще вод океана [1]. При этом автор высказал убеждение, что баланс между горизонтальной термохалинной адвекцией и вертикальным перемешиванием в пикноклине океана поддерживается в квазистационарном состоянии при перемежающемся участии солевых пальцев.

В работах [2–5] мы уже продемонстрировали ряд закономерных крупномасштабных последствий диапикнического (вертикального) тепло- и массопереноса соевыми пальцами, возбуждаемого в подповерхностных и промежуточных водах океана благодаря двойной диффузии, т. е. различию (примерно в 100 раз) в коэффициентах молекулярной теплопроводности и диффузии соли.

Перемешивание пальцевой конвекцией в субтропических зонах океана стремится выровнять физические свойства в толще стратифицированных вод. Исходя из простого физического факта, что интенсивное перемешивание стратифицированных вод на одних глубинах неизбежно приводит к обострению градиентов на других, здесь в более нижних слоях, также как и на нижней границе верхнего квазиоднородного слоя, логично ожидать проявления термохалинной конвекции солевых пальцев в виде формирования слоев экстремумов градиентов температуры и солености (экстремумов  $E\theta$  и  $ES$ ). Так ли обстоит дело в действительности?

В качестве объекта для проверки этой рабочей гипотезы выбрана Северная Атлантика, где тепло- и массоперенос соевыми пальцами наиболее действенен из-за более высокой по сравнению с другими частями Мирового океана соленостью вблизи поверхности. Компоненты гидростатической устойчивости вычислялись по предложенной в [3] методике на основе материалов глубоководных наблюдений за температурой и соленостью, собранных во ВНИИГМИ-МЦД и обобщенных в форме наиболее вероятных средних годовых (многолетних) значений на “стандартных горизонтах” для одноградусных трапеций.

Выполненные оценки свидетельствуют в пользу высказанного выше предположения: макромасштабные экстремумы  $E\theta$  и  $ES$  действительно

являются неотъемлемыми элементами стратификации полей температуры и солености в пределах субтропической антициклонической системы.

В докладе представлена средняя годовая топография “ядра” термохалокина как поверхности максимальных значений  $E_\theta$  и  $E_S$  внутри стационарного переходного слоя Северной Атлантики. Приводятся свидетельства того, что различия в положении и толщине океанического термохалокина связаны с изменчивостью эффективности действия конвекции в виде солевых пальцев.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Федоров К.Н.** Изопикнический эффект локального турбулентного перемешивания в океанском пикноклине // ДАН. 1983. Т. 271. № 5. С. 1230–1234.
2. **Перескоков А.И., Федоров К.Н.** Дифференциально-диффузионная конвекция в толще вод океана как климатообразующий фактор // ДАН. 1985. Т. 285. № 1. С. 229–232.
3. **Федоров К.Н., Перескоков А.И.** Типизация термохалинных условий стратификации в Мировом океане // Метеорология и гидрология. 1986. № 12. С. 71–77.
4. **Перескоков А.И., Федоров К.Н.** Вентиляция вод термокина океана конвекцией типа солевых пальцев // ДАН. 1989. Т. 309. № 1. С. 192–196.
5. **Перескоков А.И.** О физической природе крупномасштабного антициклонического круговорота в толще вод Норвежского моря // ДАН. 1999. Т. 364. № 4. С. 549–552.

## ГЛАВНЫЕ МОДЫ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ВОД НАД КОНТИНЕНТАЛЬНЫМ СКЛОНОМ В СУБАРКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Трусенкова О.О.<sup>1</sup>, Островский А.Г.<sup>2</sup>, Лазарюк А.Ю.<sup>1</sup>, Лобанов В.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, ул. Балтийская, 43, 690041, г. Владивосток, 8(423)231-14-00, [trolia@poi.dvo.ru](mailto:trolia@poi.dvo.ru)

<sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01

Обсуждаются результаты разложения на эмпирические ортогональные функции аномалий температуры, частоты плавучести и кинетической энергии (в осях глубина – время), измеренных с помощью автономного профилографа «Аквалог», установленного у побережья южного Приморья в северо-западной части Японского моря.

Principal variability modes, derived by depth and time, of temperature, buoyancy frequency, and kinetic energy anomalies measured by the moored Aqualog profiler deployed at the continental slope off the Russian coast in the northwestern Japan Sea are discussed.

С целью исследования процессов синоптического и мезо- масштабов в динамически активном районе континентального склона у побережья южного Приморья, где на юго-запад следует Приморское течение, формируются вихри, развиваются различные моды шельфовых волн, происходит перенос теплых вод с юга и с востока, в пункте с координатами (42.53° с.ш., 133.80° в.д.) был установлен автономный профилограф «Аквалог» [1]. По этим уникальным данным, охватывающим теплый период (от 14 апреля до 15 октября) 2015 г., уже были выделены колебания глубины залегания изопикнической поверхности с аномалией плотности 27.15 кг/м<sup>3</sup>, которая достаточно хорошо представляет вертикальные колебания в слое измерений «Аквалога», с периодами 2–3.5, 8–13 и 18–22 сут. и 1 мес. [2]. Целью данной работы является оценка изменчивости структуры вод с глубиной.

Первичная обработка данных, в том числе устранение динамических погрешностей, связанных с различной инерционностью датчиков, обсу-

ждается в [3]. Здесь выполнено разложение на эмпирические ортогональные функции (ЭОФ) аномалий (от среднего по времени) температуры, частоты плавучести (показателя стратификации, с предварительным устранением колебаний с периодами меньше 3 сут.) и кинетической энергии, определенных в осях глубина – время с дискретностью 1 м и 6 час. ЭОФ представляют изменчивость по вертикали (рис. 1), главные компоненты (ГК) – по времени (рис. 2). Доля дисперсии, учитываемая ЭОФ 1 по температуре и кинетической энергии, превышает 50%; меньшая доля по частоте плавучести объясняется усилением шума при дифференцировании плотности по вертикали (рис. 1). ЭОФ 1 отражают изменчивость в целом, поскольку доли дисперсии последующих мод в 2–3 раза ниже, и они представляют локализованные во времени сигналы.

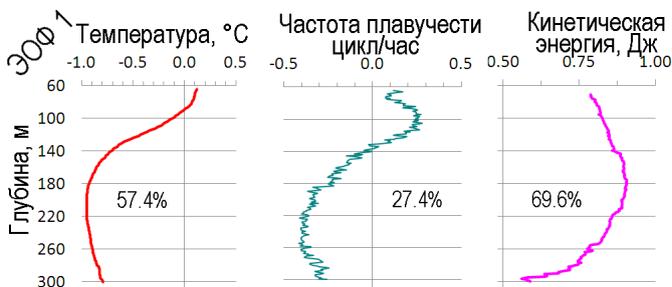


Рис. 1. ЭОФ 1 для аномалий температуры, частоты плавучести и кинетической энергии. Показана доля дисперсии

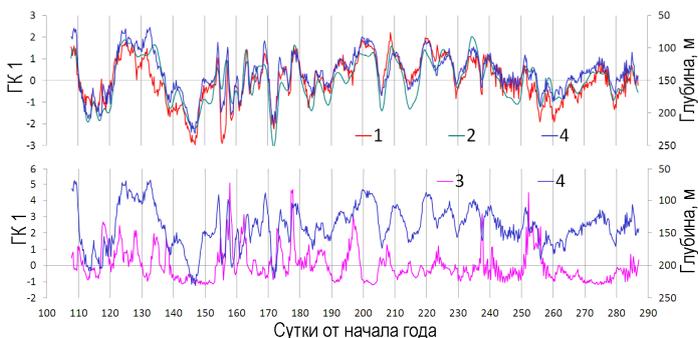


Рис. 2. ГК 1 для аномалий температуры (кривая 1), частоты плавучести (кривая 2) и кинетической энергии (кривая 3), а также глубина поверхности  $27.15 \text{ кг/м}^3$  (кривая 4)

Наибольший вклад в изменчивость для ЭОФ 1 по температуре и кинетической энергии приходится на глубины 140–220 м. ЭОФ 1 по частоте плавучести имеет максимум и минимум на глубинах 100 и 260 м соответственно (рис. 1). ГК 1 для температуры и частоты плавучести тесно связаны друг с другом и с глубиной изопикнической поверхности  $27.15 \text{ кг/м}^3$ : парные коэффициенты корреляции составляют 0.8–0.9. Смена знака ЭОФ 1 для аномалий температуры на глубине 90 м говорит о разном характере изменчивости выше и ниже этой глубины. Ранее было показано, что термохалинные аномалии, измеренные «Аквалогом» в слое выше 70 м, соответствуют интрузиям вод, связанным с динамическими структурами синоптического и мезо- масштабов, наблюдавшихся на спутниковых снимках [4], а в нижнем слое они связаны со смещениями изопикнических слоев по вертикали [5]. В данной работе ЭОФ-анализ позволил точно определить глубину перехода.

Таким образом, при опускании изопикнических поверхностей, что происходит, например, в антициклонических вихрях, температура профилируемого слоя в целом увеличивается, а частота плавучести уменьшается (стратификация ослабляется) выше 140 м (в ядре вихря), как и следовало ожидать, но ниже 140 м стратификация усиливается, поскольку верхние слои, опускаясь, сближаются с нижними. Эти зависимости означают, что антициклонические циркуляции внутри вихрей затрагивают в этом районе довольно тонкий слой (около 150 м), тогда как в открытом море к югу от зал. Петра Великого ( $40^\circ\text{--}41^\circ \text{ с.ш.}$ ,  $131^\circ\text{--}134^\circ \text{ в.д.}$ ) весной и летом 1999 г. были зарегистрированы вихри, проникающие до 1000 м и глубже [6].

На основе вейвлет-преобразования (с материнским вейвлетом DOG-9) выявлены масштабы изменчивости. Для температуры, частоты плавучести и глубины поверхности  $27.15 \text{ кг/м}^3$  характерные периоды составляют 110–130 сут. (в течение всего периода измерений), 20–30 сут. (до середины августа), 12–18 сут. (в июне), 8–12 сут. (в июле), 2–6 сут. (в июне). Кинетическая энергия характеризуется иной изменчивостью и более регулярными колебаниями, с масштабами 40–80 и 20–30 сут. (в течение всего периода измерений), 10–12 и 2–7 сут. (в июне). Кинетической энергии также свойственны короткопериодные колебания в инерционном диапазоне, резко интенсифицировавшиеся после усиления ветра при прохождении атмосферных неоднородностей синоптического масштаба. Общей для всех характеристик является регулярная изменчивость с периодами 20–30 сут., что позволяет предположить ее связь с прохождением волновых образований. В начале июня наблюдается перенос энергии колебаний вверх по масштабам, а с середины августа изменчивость существенно ослабевает.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 16-05-00899) и программы приоритетных исследований ДВО РАН «Дальний Восток» (проект № 18-1-010).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Островский, А.Г., Зацепин А.Г., Соловьёв В.А., Цибульский А.Л., Швоев Д.А.** Автономный мобильный аппаратно-программный комплекс вертикального зондирования морской среды на заякоренной буйковой станции // *Океанология*. – 2013. – Т. 53. – № 2. – С. 259–268.

2. **Трусенкова О.О., Лазарюк А.Ю., Островский А.Г., Лобанов В.Б., Каплуненко Д.Д.** Короткопериодная изменчивость вертикальной стратификации вод на континентальном склоне в районе залива Петра Великого (Японское море) // *Вестник ДВО РАН*. – 2018. – № 1. – С. 49–59.

3. **Лазарюк А.Ю., Каплуненко Д.Д., Островский А.Г., Лобанов В.Б., Трусенкова О.О., Ладыченко С.Ю.** Экспериментальные исследования изменчивости термохалинной структуры вод над континентальным склоном северо-западной части Японского моря // *Океанологические исследования*. – 2017. – № 45. – С. 33–51.

4. **Трусенкова О.О., Островский А.Г., Лазарюк А.Ю., Ладыченко С.Ю., Дубина В.А., Лобанов В.Б.** Водообмен у южного побережья Приморья в Японском море по спутниковым данным и долговременным контактными измерениям // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2018 (в печати).

5. **Трусенкова О.О., Лазарюк А.Ю., Островский А.Г., Лобанов В.Б.** Короткоживущие неоднородности гидрофизических характеристик у побережья Приморского края, Японское море (по данным профилографа «Аквалог») // *Сборник трудов Международного симпозиума «Мезомасштабные и субмезомасштабные процессы в гидросфере и атмосфере» (МСП-2018), посвященный 90-летию проф. К.Н. Федорова*. – М.: ИО РАН, 2018. – С. 350–353.

6. **Лобанов В.Б., Пономарев В.И., Салюк А.Н. и др.** Структура и динамика синоптических вихрей северной части Японского моря // *Дальневосточные моря России*. Кн. 1: *Океанологические исследования*. – М.: Наука, 2007. – С. 450–473.

## **ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ВОССТАНОВЛЕНИЮ ДАННЫХ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ ВОДЫ НА РАЗРЕЗЕ «КОЛЬСКИЙ МЕРИДИАН» В 2016-2017 ГГ.**

**Карсаков А.Л., Трофимов А.Г., Ившин В.А., Анциферов М.Ю.**

*Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича, ул. Академика Книповича, 6,  
183038, г. Мурманск, 8(8152)40-26-21, karsakov@pinro.ru*

В статье представлены методы и результаты восстановления данных по температуре воды на разрезе «Кольский меридиан» в 2016-2017 гг. Для восстановления использовались: (1) внутренняя структура ряда, (2) метод множественной линейной регрессии и (3) модельные данные.

This paper presents methods and results of restoration of data on water temperature in the Kola Section in 2016-2017. The restoration was carried out using: (1) internal structure of time-series, (2) multiple linear regression method and (3) modelled data.

Стандартный разрез «Кольский меридиан», расположенный в Баренцевом море к северу от Кольского залива вдоль 33°30' в.д. от 69°30' до 77°00' с.ш., является одним из самых длинных в мире рядов океанографических данных, имеет почти 120-летнюю историю выполнения, достаточно высокое временное разрешение и широкую известность в мировых научных кругах [1, 2, 3, 4]. Разрез состоит из 16 станций, однако в последние годы регулярно выполняются только первые десять станций (с 69°30' до 74°00' с.ш.) [5]. По разным причинам с июня 2016 г. по май 2017 г. наблюдения на разрезе не проводились и впервые за послевоенный период уникальный ряд наблюдений был прерван. Цель работы – восстановить пропущенные данные по температуре воды на разрезе «Кольский меридиан».

В процессе восстановления средних значений температуры в слоях 0-50, 0-200, 50-200 и 150-200 м на внутреннем (станции 1-3), центральном (станции 3-7) и внешнем (станции 8-10) участках разреза «Кольский меридиан» за каждый месяц с июня 2016 г. по май 2017 г. использовались следующие три метода.

**1. Внутренняя структура ряда разреза «Кольский меридиан».** Суть метода состоит в следующем: вначале анализируется внутренняя

структура временного ряда путем выделения квазипериодических составляющих полосовым фильтром Баттерворта, затем выделенные составляющие экстраполируются на один или несколько шагов вперед по времени для получения отсутствующих значений. Восстановление пропусков данных этим методом проводилось при помощи комплексов «АСАПлюс» и «ПРИЗМА» [6]. Результаты, полученные с помощью этого подхода, выглядят заниженными. Так, в августе-сентябре 2016 г. во время экосистемной съемки Баренцева моря аномалии температуры в районе разреза «Кольский меридиан» были почти в два раза выше восстановленных значений. А наблюдения, выполненные на разрезе в ноябре и декабре 2017 г., показали, что фактические аномалии температуры (0,70 и 0,90 °С соответственно) были гораздо выше, чем восстановленные (–0,05 °С и –0,12 °С соответственно).

**2. Метод множественной линейной регрессии.** Суть подхода в том, чтобы, используя данные соседних разрезов, получить регрессионные модели, позволяющих рассчитывать данные на разрезе «Кольский меридиан». Использовались данные норвежских разрезов «Вардё–Север» и «Фулей–Медвежий» с 1977 по 2017 г., любезно предоставленные Институтом морских исследований (г. Берген, Норвегия). Всего было построено 132 уравнения регрессии для каждого месяца каждого слоя и участка разреза «Кольский меридиан». Коэффициенты детерминации моделей ( $R^2 = 0,47...0,92$ ) говорят о высокой степени соответствия модельных и натурных данных по всем слоям и участкам разреза, за исключением июля-сентября в слое 0-50 м во внешней части разреза ( $R^2 = 0,20...0,37$ ). Наилучшие модели ( $R^2 = 0,63...0,92$ ) получены для летне-осеннего периода и более глубоких слоев. Качество моделей ухудшается в зимний период, а также в поверхностном слое и на внутреннем участке разреза ( $R^2 = 0,53...0,76$ ).

**3. Океанографическая модель NEMO.** Для восстановления использовались данные, рассчитанные с помощью модели NEMO [7] и представленные на сайте Copernicus (<http://marine.copernicus.eu>). По всем слоям и участкам разреза были получены высокие коэффициенты детерминации между модельными и фактическими данными ( $R^2 = 0,61...0,84$ ), что говорит о их хорошей согласованности.

В качестве примера, на рисунке 1 представлено распределение фактических и восстановленных значений температуры воды в слое 0–200 м на центральном участке разреза «Кольский меридиан». Далее для оценки качества рассмотренных подходов и выбора наилучшего, были рассчитаны статистики абсолютных ошибок (табл. 1).

Наилучшие результаты получены при использовании модельных данных (модель NEMO). Наибольшие абсолютные ошибки были при использовании метода множественной линейной регрессии. Что касается первого подхода (использование внутренней структуры ряда), средняя абсолютная ошибка была сопоставима с таковой для третьего подхода, однако максимальная ошибка оказалась в два раза больше. Первый подход дает хорошие результаты на зависимых данных, но при расчетах на независимых данных (а это именно то, что нужно при восстановлении пропусков) ошибка значительно возрастает (рис. 1).

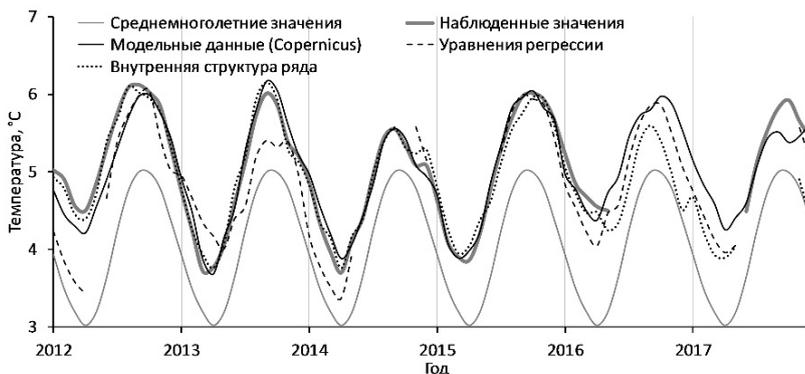


Рис. 1. Среднемноголетняя за 1951-2010 гг., наблюдаемая и рассчитанная температура воды в слое 0-200 м в центральной части разреза «Кольский меридиан» (станции 3-7)

Таблица 1. Статистики абсолютной ошибки восстановления данных на разрезе «Кольский меридиан» на примере центрального участка и слоя 0-200 м за период с 2007 по 2017 г.

Статистика абсолютной ошибки, °C	Подход восстановления данных (нумерация дана в аннотации)		
	1	2	3
Среднее значение	0,10	0,35	0,13
2,5σ (σ – стандартное отклонение)	0,40	1,32	0,42
Максимальное значение	1,02	2,54	0,54

Таким образом, использование результатов океанографической модели NEMO для восстановления пропусков показало наилучший ре-

зультат, и этот подход был использован для окончательного восстановления данных по температуре воды в слоях 0-50, 0-200, 50-200 и 150-200 м на разрезе «Кольский меридиан» за каждый месяц с июня 2016 г. по май 2017 г. [8].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Карсаков А. Л.** Закономерности и особенности режима вод Баренцева моря (по наблюдениям на вековом разрезе «Кольский меридиан») / А. Л. Карсаков // Дисс. ... канд. геогр. наук. – Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2007. – 198 с.

2. **Карсаков А. Л.** Океанографические исследования на разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море в 1900-2008 гг. / А. Л. Карсаков. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2009. – 139 с.

3. **Ozhigin V. K.** Introduction to the Barents Sea / V. K. Ozhigin, R. B. Ingvaldsen, H. Loeng, V. D. Boitsov, A. L. Karsakov // The Barents Sea: ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation. – Trondheim: Tapir Academic Press, 2011. – P. 39-76.

4. **Yashayaev I.** The role of the Atlantic water in multidecadal ocean variability in the Nordic and Barents seas / I. Yashayaev, D. Seidov // Progress in Oceanography. – 2015. – V. 132. – P. 68-127.

5. **Бойцов В. Д.** Исследование изменчивости гидрофизических характеристик по наблюдениям на разрезе «Кольский меридиан» / В. Д. Бойцов, А. Л. Карсаков, А. С. Аверкиев, Д. В. Густоев, И. П. Карпова // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2010. – № 15. – С. 135-149.

6. **Аверкиев А. С.** Методические рекомендации по использованию метода сверхдолгосрочного прогнозирования гидрометеорологических элементов (МСПГЭ) и программного комплекса «Призма» / А. С. Аверкиев, В. М. Булаева, Д. В. Густоев, И. П. Карпова. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1997. – 40 с.

7. **Madec G.** NEMO ocean engine / G. Madec. // Note du Pôle de modélisation. Institut PierreSimon Laplace (IPSL). France. – 2008. – No. 27. – ISSN 1288-1619.

8. **Карсаков А. Л.** Восстановление данных по температуре воды на разрезе «Кольский меридиан» в 2016-2017 гг. / А. Л. Карсаков, А. Г. Трофимов, В. А. Ившин, М. Ю. Анциферов, А. С. Аверкиев, Д. В. Густоев // Труды «ВНИРО». – 2018. (в печати)

## К 100-ЛЕТИЮ ВАЛЬТЕРА МАНКА (WALTER MUNK)

**Щевьев В. А.**

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

Вальтер Манк (Walter Munk) один из наиболее известных океанологов. В начале 1970 х годов выступил с докладом про влияние Луны на циркуляцию в океане в ИО РАН. Такой точки зрения придерживаются более 20 авторов.

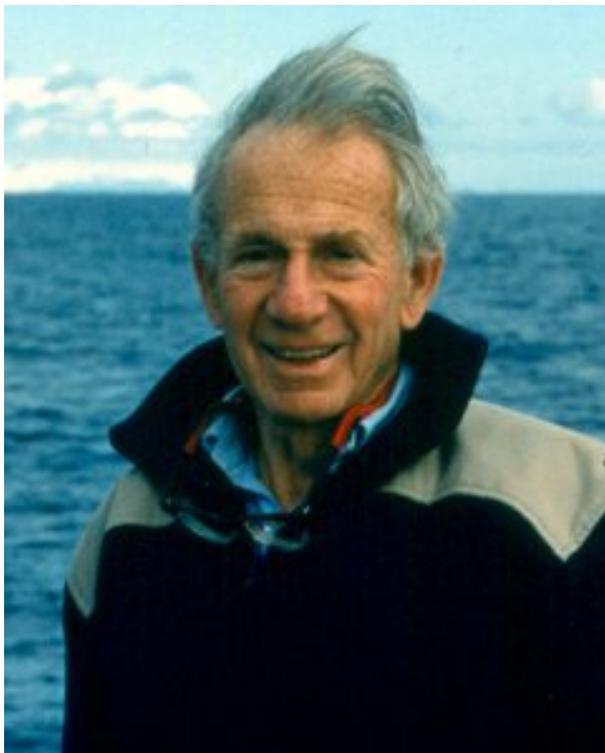
Walter Munk is one of the most famous oceanologists. In the early 1970s, he made a report on the influence of the moon on the circulation in the ocean at the IO RAS. This point of view is held by more than 20 authors.

Вальтер Манк (Walter Munk) – один из наиболее известных океанологов нашего времени родился в Австрии 19 октября 1917 г. [1]. Сейчас Walter H. Munk занимает должность Professor emeritus of geophysics at the Scripps Institution of Oceanography at the University of California San Diego. Он, пожалуй, самый признанный и известный океанограф из ныне живущих и один из основателей современной физической океанографии.

Для нас большую ценность представляет работа «Munk W., Wunsch C. Abyssal recipes II: energetics of tidal and wind mixing. Deep-Sea Research I 45. 1998. pp. 1977-2010». Авторы утверждают, что поток тепла от экватора к полюсам (2000 терраватт), рассматриваемый как термохалинная циркуляция, неожиданен, т. к. эта циркуляция невозможна без «сравнительно небольшого механического источника перемешивания» (Munk W., Wunsch C. 1998). Они доказывают, что более вероятным источником **внутренних волн** и диффузии являются приливы. Отсюда следует, что возможные источники внутреннего перемешивания – **это только ветер и приливы**. В конце статьи очень забавная фраза: «To many readers, the proposal that the Moon plays a major role in the general circulation will border on the lunatic». (Для многих читателей, мысль, что Луна играет важную роль в общей циркуляции граничит с сумасшествием). Эта фраза говорит о том, что у них, там «много читателей», и они обсуждают разные точки зрения, а не отвергают.

Манк несколько раз посещал ИО РАН. В начале 1970-х годов на семинаре в Люблино выступил с докладом про **влияние Луны на циркуляцию в океане**.

Сотрудники ИО РАН Мониин А. С., Шишков Ю. [3] развили эту тему в разделе о приливной эволюции скорости вращения Земли. Существуют ряд работ, в основе которых гипотеза И. Канта, согласно которой Луна (и Солнце) создают движущую силу, которая гонит воду вдоль экватора с востока на запад. Таким образом возникают экваториальные течения. Они дают начало крупномасштабным антициклоническим циркуляциям (рис. 1). Но так – же эти силы действуют не только на океан, но и на атмосферу, и на **все части Земли**. Наблюдаются заметные приливы в атмосфере [3,5,6]. Зенин Владимир в интернете поместил статью: «Moon is the primary driving force of the global air circulation» (vladimirz@iimetro.com.au).



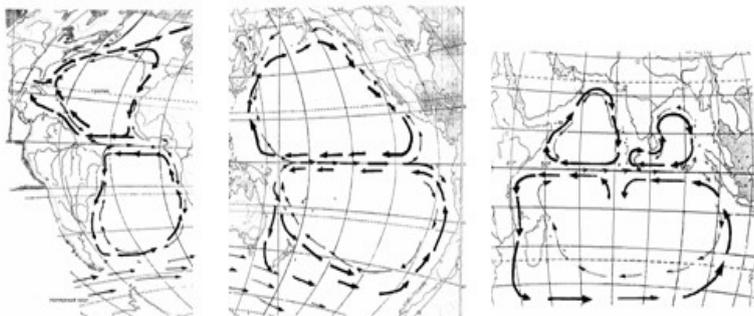


Рис. 1. Крупномасштабные климатические циркуляции Атлантического океана (антициклонические – толстые линии, циклонические – тонкие линии) (слева), Тихого (в центре), и Индийского океанов (справа)

В процессе исследований мы обнаружили, что такой точки зрения придерживаются более 20 авторов. Авсюк Ю. Н., Суворова И., Иогансон Л. И., Светлозанова И., Добролюбов А. И. 1996, Гарецкий Р. Г.; Монин А. С., Шишков Ю.; Максимов И. В. Лупачев Ю. В., Шокальский Ю. М., Kant I.; Le Blond P. H., Mysak L. A., Broche, Sündermann J.; Groves G. V.; Morner N. A.; Munk W., Wunsch C.; Egbert G. D., Ray R. D. Владимир Зенин. Федоров В. М.

Но абсолютному большинству научных сотрудников это неизвестно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Морозов Е. Г.** К 100-летию Вальтера Манка (Walter Munk). // Океанологические исследования Т. 45. №1 (2017). С. 244–248.
2. **Munk W., Wunsch C.** Abyssal recipes II: energetics of tidal and wind mixing. Deep-Sea Research I 45. 1998. pp. 1977–2010.
3. **Egbert G. D., Ray R. D.** Significant dissipation of tidal energy in the deep ocean inferred from satellite altimeter data. Nature, 405, 775–778, 2000.
4. **Монин А. С., Шишков Ю. А.** История климата. – М.: Гидрометеоиздат, 1979. 407 с.
5. **Ле Блон П., Майсек Л.** Волны в океане. Т. 1, 2. – М.: Мир, 1981. 365 с.
6. **Щевьёв В. А.** Физика течений в океанах, морях и в озерах. История поисков, размышлений, заблуждений, открытий. 2012 г. Изд-во LAMBERT Academic Publishing. ISBN: 978-3-8484-1929-6.
7. **Щевьёв В. А.** Физика течений в океанах, морях и в озерах. Сокращенный вариант книги.
8. <http://www.randewy.ru/gml/shev5.html>

## СВЯЗЬ КРУПНОМАСШТАБНОЙ АНТИЦИКЛОНИЧЕСКОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В АТЛАНТИКЕ С АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

Щевьев В. А.

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

Гигантские океанские антициклонические циркуляции в Океане и атмосферные антициклонические циркуляции, совпадающие с ними, образованы действием приливообразующих сил Луны и Солнца.

Giant ocean anticyclonic circulations in the Ocean and atmospheric anticyclonic circulations coinciding with them are formed by the action of tidal forces of the Moon and the Sun.

Существование гигантских океанских антициклонических круговоротов в северных и южных частях трех океанов объясняют действием соответствующих атмосферных субтропических антициклонических центров. Западные ветви этих круговоротов вследствие, так называемого  $\beta$  эффекта, образуют интенсивные узкоструйные пограничные течения – Гольфстрим, Бразильское течение, Мадагаскарское и мыса Игольного, Куру Сио и Восточно – Австралийское течения [1].

Нейман В. Г. отмечает, что «Концептуальные основы теории общей циркуляции океана (ОЦО) в том или ином виде содержатся в трудах многих известных гидрофизиков прошлого столетия. (Х. Свердруп, Г. Стоммел, В. Б. Штокман, В. В. Шулейкин, А. С. Монин, А. С. Саркисян). Однако совокупного, логического связного описания **ключевых факторов**, определяющих физическую модель ОЦО, в общедоступной литературе обнаружить фактически не удается» [2].

«По – видимою основным по значению источником энергии ОЦО является ветровое напряжение на поверхности океана. **Роль ветра** в формировании поверхностных океанских течений проявляется при **сопоставлении** схем циркуляции атмосферы и океана. Однако перенос чисто дрейфовых течений, ограниченных тонким поверхностным слоем, несоизмеримо мал по сравнению с глобальным масштабом общей циркуляции. Поэтому «быстрые» ветровые дрейфовые течения сами по себе непосредственно **не влияют** на систему ОЦО» [2].

В качестве альтернативной причины образования ОЦО Нейман В. Г. предлагает: «Реальное значение для ОЦО имеют так называемые вторичные ветровые течения, виртуально «возбуждаемые» среднемноголетним полем ветра в виде медленных крупномасштабных бароклинных переносов».

Но существуют ряд работ, в основе которых гипотеза И. Канта, согласно которой Луна (и Солнце) создают движущую силу, которая гонит воду вдоль экватора с востока на запад. Таким образом возникают экваториальные течения. Они дают начало крупномасштабным антициклоническим циркуляциям (рис. 1, слева). Но так – же эти силы действуют не только на океан, но и на атмосферу, и на **все части Земли**. Наблюдаются заметные приливы в атмосфере [3, 5, 6].

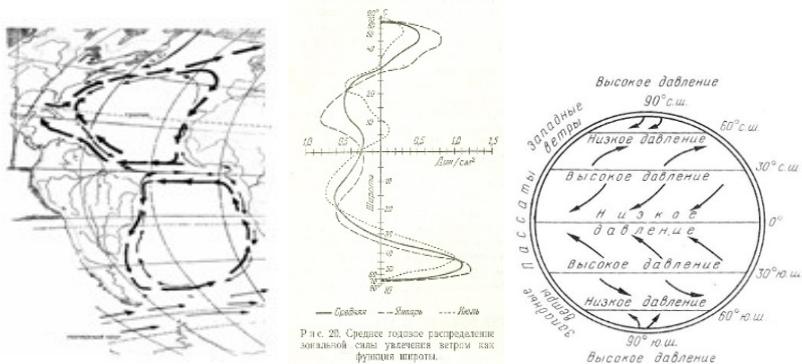


Рис. 1. Крупномасштабные циркуляции Атлантического океана (антициклонические – толстые линии, циклонические – тонкие линии) (слева). Среднее годовое распределение зональной силы увлечения ветром как функция широты (в центре). Глобальная циркуляция атмосферы (справа)

Такой точки зрения придерживаются более 20 авторов. Авсюк Ю. Н., Суворова И., Иогансон Л. И., Светлозанова И., Добролюбов А. И. 1996, Гарецкий Р. Г.; Монин А. С., Шишков Ю.; Максимов И. В. Лупачев Ю. В., Kant I.; Le Blond P. H., Mysak L. A., Broche, Sündermann J.; Groves G. V.; Morner N. A.; Munk W., Wunsch C.; Egbert G. D., Ray R. D. Владимир Зенин. Федоров В. М.

Общей циркуляцией атмосферы называют замкнутые течения воздушных масс всего земного шара (рис. 1, справа). Главной причиной возникновения воздушных течений в атмосфере считается неравномерное распределение тепла на поверхности Земли, что приводит к неодн-

наковому нагреванию почвы и воздуха в различных поясах земного шара, возникает градиент давления в атмосфере. Считается, что солнечная энергия является первопричиной всех движений в воздушной оболочке Земли [4].

Но атмосферное давление изменяется во всех направлениях и не может создать устойчивого ветра в одном направлении (Рис. 1, в центре). Поэтому более физически обоснована гипотеза Владимира Зенина (4). «Общепринято, что глобальная циркуляция воздуха обусловлена градиентом давления в атмосфере. В предположении, что атмосферные и океанские приливы контролируются одними и теми же гравитационными силами и что газы и жидкости имеют одинаковые закономерности, можно без сомнений заключить, что **атмосферные приливы создают глобальную циркуляцию атмосфереры**».

**ВЫВОД:** «Совпадение местоположения гигантских антициклонических круговоротов в океане и атмосфере объясняется одной причиной их существования – воздействием приливообразующих сил Луны и Солнца на водные и воздушные массы».

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Каменкович В.М., Кошляков М.М., Монин А.С.** Синоптические вихри в океане. Л.: Гидрометеиздат. 1982. 264с.

2. **Нейман В. Г.** К оценке роли термического и ветрового факторов в формировании системы общей циркуляции вод мирового океана. Сб. трудов международного симпозиума «Мезомасштабные и субмезомасштабные процессы в гидросфере и атмосфере» МСП 2018. – М., 2018.

3. **Ле Блон П., Майсек Л.** Волны в океане. Т. 1,2. – М.: Мир, 1981. 365 с.

4. **Зенин В.** Moon is the primary driving force of the global air circulation. vladimirz@iimetro.com.au.

5. **Щевьёв В. А.** Физика течений в океанах, морях и в озерах. История поисков, размышлений, заблуждений, открытий. 2012 г. Изд-во LAMBERT Academic Publishing. ISBN: 978-3-8484-1929-6

6. **Щевьёв В. А.** Физика течений в океанах, морях и в озерах. Сокращенный вариант книги. <http://www.randewy.ru/gml/shev5.html>

## **ДИНАМИКА ВНУТРЕННИХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ ГЕНЕРАЦИИ**

**Булатов В.В., Владимирюв Ю.В.**

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

Рассмотрена задача о внутренних и поверхностных гравитационных волн вдали от движущегося нестационарного источника возмущений. В линейном приближении получены интегральные формы решения для отдельной волновой моды. Представлены и обсуждены результаты численных расчетов, описывающие основные особенности фазовой структуры и волновых картин возбуждаемых волновых полей в зависимости от параметров генерации.

The problem of mathematical modeling of the far internal and surface gravity waves fields from a moving non-stationary source of disturbances is considered. In the linear approximation, integral forms of the solution for an individual wave mode are obtained. The results of numerical calculations describing the main features of the phase structure and wave patterns of excited wave fields as functions of the generation parameters are presented and discussed.

В настоящее время наблюдается рост интереса к математическому моделированию волновых движений неоднородных природных стратифицированных сред, обусловленный проблемами геофизики, океанологии, физики атмосферы, охраны и изучения окружающей среды, эксплуатации сложных гидротехнических сооружений, в том числе морских нефтедобывающих комплексов и рядом других актуальных задач науки и техники. Новые экспериментальные и технические возможности стимулируют работу по математическому моделированию и асимптотическому исследованию волновой динамики внутренних и поверхностных гравитационных волн. Важным механизмом возбуждения полей внутренних и поверхностных гравитационных волн в природных (океан, атмосфера Земли) и искусственных стратифицированных средах

является их генерация источниками возмущений различной физической природы: природного (движущийся тайфун, ветровое волнение, обтекание неровностей рельефа океана, изменения полей плотности и течений, подветренные горы) и антропогенного (морские технологические конструкции, схлопывание области турбулентного перемешивания, подводные взрывы) характеров. Основные результаты решений задач о генерации волновых возмущений представляются в самой общей интегральной форме, и в этом случае полученные интегральные решения требуют разработки численных и асимптотических методов их исследования, допускающих качественный анализ и проведение экспресс оценок получаемых решений. Волны, существующие в океане вследствие стратификации его вод, являются принципиально двумерными, а во многих случаях и трехмерными, поэтому в вычислительном плане анализ двумерных и трехмерных нестационарных волновых движений является весьма сложной задачей. Разработан и получил широкое применение численный код MIT, решающий полные уравнения гидродинамики с учетом реального рельефа дна, вращения Земли и турбулентных процессов. Данная модель требует больших компьютерных ресурсов, оправданных только для решения ряда отдельных практических задач океанологии. удерживающие, параметризация которых численно затруднительна. Существующие в настоящее время другие методы численного моделирования, в том числе с использованием суперкомпьютеров не всегда позволяют эффективно рассчитывать конкретные физические задачи волновой динамики океана и атмосферы с учетом их реальной изменчивости, так как ориентированы на решение достаточно общих задач, требуют большой вычислительной мощности, не всегда учитывают физическую специфику решаемых задач, что существенно ограничивает их практическую применимость, особенно при расчетах волновых полей в реальных природных средах. Кроме того, использование мощных численных алгоритмов требует верификации и сравнения с решениями модельных задач [1-4].

Целью настоящей работы является математическое моделирование нестационарных режимов генерации полей внутренних и поверхностных гравитационных волн, возбуждаемых нестационарным движущимся источником возмущений. Результаты математического моделирования нестационарных режимов генерации показывают, что дальние волновые поля от нестационарных источников возмущений при определенных режимах генерации представляют собой гибридную систему волн двух типов: кольцевых (поперечных) и клиновидных (продольных). Не-

стационарность источника возмущений приводит к появлению не только кольцевых волн, расходящихся по непосредственно от источника, но также к генерации гибридных волновых возмущений, распространяющихся от источника вверх по потоку. Качественная картина волновых полей от нестационарного источника существенно усложняется по сравнению со случаем генерации волн движущимся стационарным источником, когда в фиксированную точку наблюдения последовательно приходят волновые фронты отдельных клиновидных (продольных) мод. Расчеты показывают, что при определенных параметрах генерации в фиксированную точку наблюдения могут приходить вначале кольцевые (поперечные) волны. Полученные результаты математического моделирования полей внутренних и поверхностных гравитационных волн дают возможность эффективно анализировать основные амплитудно-фазовые характеристики возбуждаемых волновых полей, и, кроме того, качественно исследовать полученные решения, что важно для правильной постановки более сложных математических моделей волновой динамики реальных стратифицированных сред. Подобного рода волновые картины могут наблюдаться при дистанционном зондировании, наблюдении и измерениях внутренних и поверхностных гравитационных волн, возбуждаемых различными источниками возмущений, в природных (океан, атмосфера Земли) и искусственных стратифицированных средах. На рис.1,2 представлены результаты расчетов дальних волновых полей от нестационарных источников возмущений.

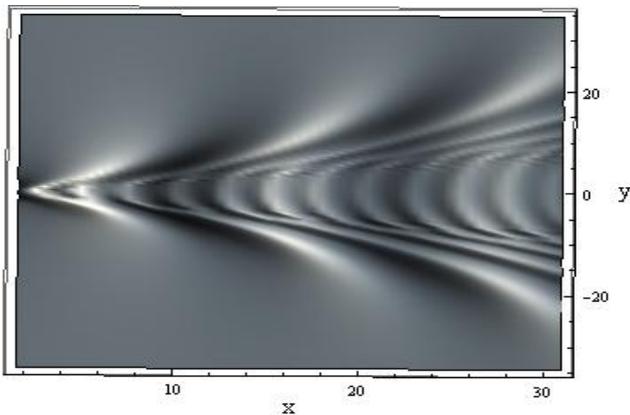


Рис. 1. Поле поверхностных гравитационных волн вдали от движущегося нестационарного источника возмущений

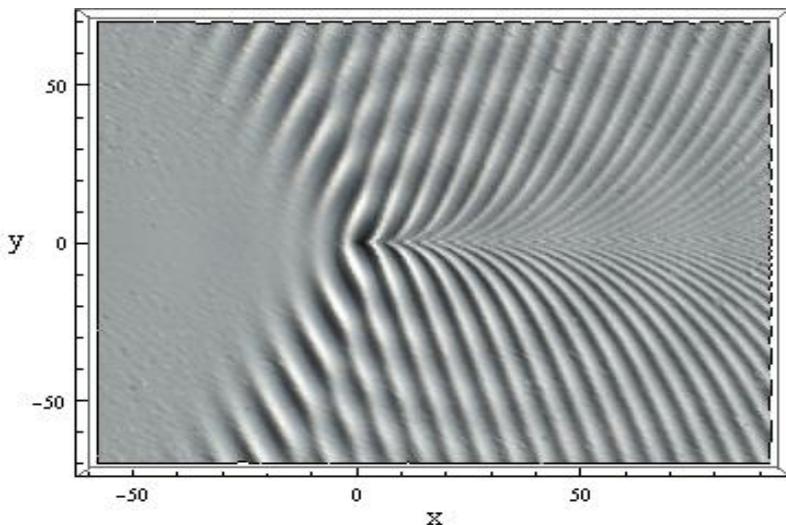


Рис. 2. Поле внутренних гравитационных волн вдали от движущегося нестационарного источника возмущений

Работа выполнена по теме государственного задания № АААА-А17-117021310375-7.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

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. Булатов В.В., Владимиров Ю.В. Гибридные поверхностные волны от гармонического источника возмущений // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2018. – №2. – С.221-26.
5. Bulatov V.V., Vladimirov Yu.V. Unsteady regimes of internal gravity wave generation in the ocean // Russian J. Earth Sciences. – 2018. – №18. – ES2004.

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИНДЕКСА АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ НАД КАСПИЙСКИМ МОРЕМ

**Пронина Т.С., Татарников В.О.**

*ФГБУ «КаспМНИЦ», Ширяева 14,  
414045, г. Астрахань. 8(8512)30-34-70,  
pronina@caspianmonitoring.ru, tatarnikov@caspianmonitoring.ru*

Реализуя рекомендации 17-ой сессии КАСПКОМ в нашем центре была разработана методика расчета индекса атмосферной циркуляции. Используя данные модели ВНИИГМИ, впервые осуществлена попытка описания особенностей региональной циркуляции над акваторией Каспийского моря. Полученные индексы региональной циркуляции атмосферы в дальнейшем могут быть использованы для анализа их влияния на состояние морской среды Каспийского моря.

To implement the recommendations of the 17th CASPCOM Session, our centre developed a technique for the calculation of atmospheric circulation index. An attempt to describe the characteristics of regional atmospheric circulation above the Caspian Sea water area was first made on the basis of VNIIGMI model data. The obtained indices of the regional atmospheric circulation will further be used to analyze their impact on the state of the Caspian Sea environment.

Изменение атмосферной циркуляции над акваторией Каспийского моря может оказывать существенное влияние на состояние морской среды. Поэтому в целях гидрометеорологического обеспечения деятельности Рамочной конвенции по защите морской среды Каспийского моря 17-я Сессия КАСПКОМ рекомендовала создать информационный ресурс, характеризующий изменения циркуляции атмосферы над Каспийским морем. С предварительной версией данного ресурса можно ознакомиться на сайте КАСПКОМа (<http://www.caspcom.com/index.php?lang=1&proj=3>) данные расчетов циркуляции представлены в табличном виде в программе Excel.

В качестве исходных материалов для расчета индекса атмосферной циркуляции используются данные наблюдений, публикуемые на сайте <http://cliware.meteo.ru/meteo/>. Это значения атмосферного давления и

скорости ветра по данным ежедневных 4-х срочных метеорологических наблюдений (00, 06, 12, 18 час) в 8-ми пунктах, расположенных на побережье моря (рис. 1) с октября 2011 года по настоящее время.

Методика расчета показателей региональной циркуляции атмосферы состоит из нескольких этапов. Исходный массив данных представляет собой наблюдения за ветром и атмосферным давлением на 8 пунктах по 4 срочным наблюдениям за месяц. На первом этапе рассчитывается средняя скорость ветра над Северным Каспием (NC), Мангышлакским порогом (MTH), Средним Каспием (MC), Апшеронским порогом (ATH) и Южным Каспием (SC). Для расчета NC берутся данные по станциям Лиман, Атырау, Форт-Шевченко и Махачкала; MTH – Махачкала, Форт Шевченко; MC – Махачкала, Форт Шевченко, Туркменбаши, Баку; ATH – Баку и Туркменбаши; SC – Баку, Туркменбаши, Сари и Решт. На втором этапе полученный массив данных по средней скорости ветра над различными частями Каспийского моря используется для расчета среднемесячной ( $W_m$ ) и максимальной ( $W_{max}$ ) скорости ветра, стандартного отклонения ( $Sw$ ), скорости ветра 10% обеспеченности ( $W_{0,1}$ ) и повторяемости скорости ветра  $> 5$  м/с ( $W_5$ ).

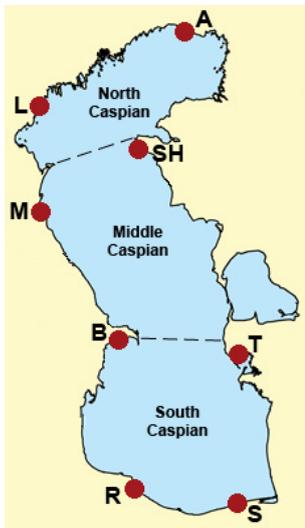


Рис. 1. Карта-схема Каспийского моря с указанием его различных частей и гидрометеорологических станций, данные (L – Лиман; A – Атырау; SH – Форт Шевченко; T – Туркменбаши; S – Сари, R – Решт, B – Баку; M – Махачкала)

Из аналогичного массива данных по атмосферному давлению производятся расчеты меридионального градиента атмосферного давления (MG), северо-каспийского широтного градиента (NCG), средне-каспийского широтного градиента (MCG), южно-каспийского широтного градиента (SCG):

$$MG = ((L-R) + (L-S) + (A-R) + (A-S))/4 \quad (1)$$

$$NCG = M-A \quad (2)$$

$$MCG = T-M \quad (3)$$

$$SCG = S-B \quad (4)$$

Полученный массив данных используется для расчёта среднемесячных параметров циркуляции атмосферы – среднее ( $G_m$ ) и максимальное ( $G_{max}$ ) значение меридионального и широтного градиентов атмосферного давления ( $G$ ), стандартное отклонение ( $S_g$ ), повторяемость различных типов циркуляции ( $C$ ).

Расчет градиента атмосферного давления над Северным Каспием (формула 2), Средним Каспием (3) и Южным Каспием (4) за весь исследуемый период показал, что наиболее характерным был барический градиент ( $G_m$ ) направленный с запада на восток (табл. 1). Учитывая отклоняющую силу вращения Земли, основной вектор перемещения воздушных масс будет направлен с севера на юг. В тоже время диапазон значений градиентов (от отрицательных к положительным) указывает на то, что на фоне основного вектора градиента можно наблюдать относительно локальные перемещения воздушных масс имеющих другой вектор направления.

Таблица 1 Средний градиент атмосферного давления (гПа) и максимальная и средняя скорость ветра (м/с) по многолетним наблюдениям над акваторией Каспийского моря

Районы моря	октябрь 2011 г. – июль 2018 г.		
	$G_m$	$W_m$	$W_{max}$
NC	$\frac{1,5}{-4,7 \dots 6,5}$	$\frac{3,3}{2,5 - 4,3}$	$\frac{7,8}{5,0 - 14,3}$
MC	$\frac{0,1}{-3,0 \dots 3,9}$	$\frac{3,8}{3,0 - 5,0}$	$\frac{8,8}{6,3 - 14,3}$
SC	$\frac{-2,2}{-4,5 \dots 0,3}$	$\frac{2,7}{1,8 - 3,6}$	$\frac{7,2}{4,5 - 10,5}$

Так как градиент атмосферного давления рассчитывается за месяц и представлен в соответствующем каталоге на сайте, то по имеющимся многолетним данным можно определить сезонные особенности и многолетнюю тенденцию. Из рисунка 2 видно, что в сезонном ходе градиента давления над Южным Каспием можно отметить два пика градиента. Первый приходится на февраль, второй, более выраженный, характерен для сентября-октября.

На графике многолетнего хода градиента можно заметить сезонные колебания градиента, и выделить 7 периодов, соответствующих годам

наблюдений. Наблюдаемая характерная периодичность говорит об устойчивости сезонного хода. Однако на этом фоне выделяется достаточно явный отрицательный тренд, указывающий на усиление градиента. Можно предположить, что увеличение градиента атмосферного давления будет способствовать усилению скорости ветра в данном регионе.

Разработанная в нашем центре методика вполне справляется с возложенными на неё функциями. Однако хотелось бы отметить, что в настоящее время каталог региональной циркуляции атмосферы охватывает лишь последние семь лет и при этом регулярно пополняется новыми данными. Но существует возможность включить в него исторические данные за 25-30 лет, для чего потребуются дополнительные усилия и время. Авторы надеются, что в дальнейшем индексы региональной циркуляции атмосферы, рассчитанные по данной методике, станут новым информационным ресурсом для изучения не только влияния атмосферы на жизнь моря, но и взаимосвязи глобальной и региональной циркуляции атмосферы.

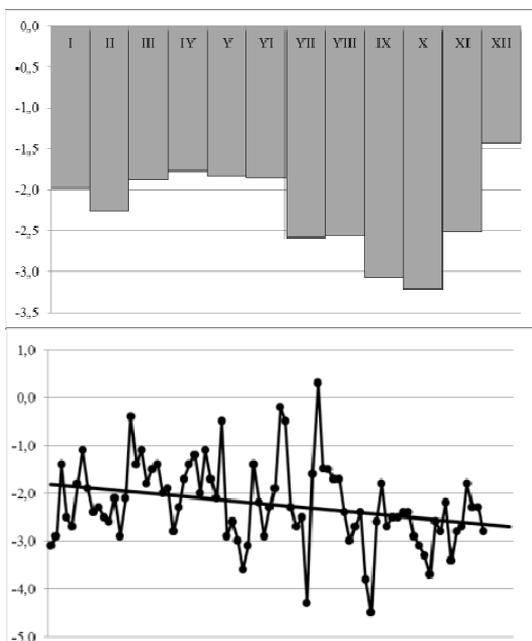


Рис. 2. Сезонный ход (слева) и многолетняя динамика (справа) средних значений южно-каспийского широтного градиента (SC)

## **МЕЛКОМАСШТАБНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ОБСКОЙ ГУБЫ**

**Чанцев В.Ю.<sup>1,2</sup>, Гудошников Ю.П.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *ФБГУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт», ул. Беринга, 38, 199397, Санкт-Петербург,  
+7(904) 551-11-67, chantsev@hotmail.com*

<sup>2</sup> *ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», Воронежская улица, 79, 192007, Санкт-Петербург,  
+7(904) 551-11-67, val@rshu.ru*

В работе дается обоснование использования негидростатических методов численного моделирования гидрофизических полей при использовании детализированной пространственной расчетной сетки. Приводятся результаты численных экспериментов расчета гидрофизических процессов в Обской губе, и валидация результатов моделирования.

The paper provides a rationale for the use of non-hydrostatic methods of numerical modeling of hydro-physical fields using a detailed spatial computational grid. The results of numerical experiments for calculating hydro-physical processes in the Ob Bay and the validation of simulation results are presented.

Современные темпы освоения районов крайнего севера требует проведения продолжительных пространственно детализированных гидрометеорологических исследований. Особое затруднение вызывает моделирование с высоким пространственным разрешением гидрофизических полей водных объектов Арктики. Сегодня океанологические исследования в морях арктического бассейна проводятся с разрешением 1-3 км [1], а для численного моделирования в шельфовых и эстуарных районах требуется модель, функционирующая на пространственной сетке с разрешением 10-100 м. Особенностью модели, необходимой для проведения расчетов, является использование негидростатического подхода при расчете течений, что позволяет описывать более точно мелкомасштабные процессы плотностной неустойчивости.

Из существующих и широко известных моделей, использующих негидростатический подход при расчете движения жидкости можно выде-

лить модель Delft3D от делфтского института Deltares. Для обеспечения негидростатического режима в модели, изменение давления происходит, как за счет изменения толщины столба воды, так и за счет гидродинамического напора. Гидродинамическое давление рассчитывается с использованием метода коррекции давления, аналогично методу, представленному Касулли (Casulli) [2]. Баротропный градиент давления вычисляется неявно, чтобы избежать ограничений временного шага из-за условий устойчивости. Коррекция давления выполняется с помощью метода сопряженного градиента. Этот метод представляет собой генерацию векторных последовательных итераций.

Прогнозирование ледового режима также требует высокого пространственного разрешения, связанного с расчетом ледовых нагрузок на различные гидросооружения и расчетом распределения физико-механических характеристик льда. Расчет термодинамического режима льда в модели базируется на параметризациях процесса нарастания и таяния льда [3, 4]. Расчет перераспределения и разрушения льда выполнялся с помощью модифицированной модели LIM, основанной на упруго-вязко-пластичной динамике морского льда [5, 6].

Для адаптации модели Delft3D на акватории Обской губы был выполнен расчет внутригодовой динамики гидрофизических полей и ледового режима. Для этого была сформирована расчетная сетка с пространственным разрешением от 4 км в Карском море до 50 м в Обской губе.

Оценка точности выполняемых расчетов гидрофизических параметров осуществлялась с помощью имеющихся данных натуральных наблюдений. Так численные расчеты колебаний уровня моря и изменчивости вектора течения под действием периодических и непериодических вынуждающих сил проводилась путем сравнения с данными наблюдений уровня моря и вертикального распределения течения, полученными с донной автоматической станции (АДС).

По данным наблюдений в летний период 2016 г. фаза рассчитанных колебаний уровня совпадает с фазой наблюдаемых (рис. 1). Отклонение расчета от наблюдений проявляется только в амплитуде колебаний. За рассматриваемый период расчета максимальная ошибка расчета уровня моря не превышала 30 см. В то же время средняя погрешность расчета укладывалась в 2.4 см. Эта погрешность составила 12.6 % от среднеквадратического отклонения (СКО) в наблюдаемых колебаниях уровня моря.

В изменениях параметров течения прослеживается влияние приливных колебаний уровня. В то же время прослеживаются и непериодические возмущения течения. Средняя величина погрешности расчета направления течения составляет  $30.9^\circ$  или 11.4 % от СКО измеренного

направления течения. Отклонения рассчитанной скорости течения от измеренной зависит как от задания стоковых расходов на границах, так и от точности задания донной топографии.

На рис. 2 представлена годовая динамика толщины льда в районе мыса Каменный Обской губы в 2015-2016 гг. Время начала ледообразования и очистки ото льда, практически, соответствуют имеющимся наблюдениям. Характер динамики нарастания льда по численным расчетам несколько превышает наблюдаемую динамику, но вполне укладывается в допустимые погрешности.

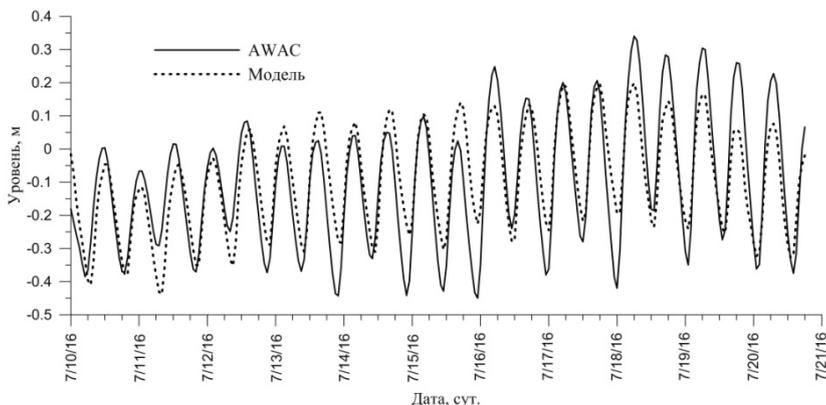


Рис. 1. Временной ход рассчитанного и наблюдаемого уровня моря в районе салмановского месторождения

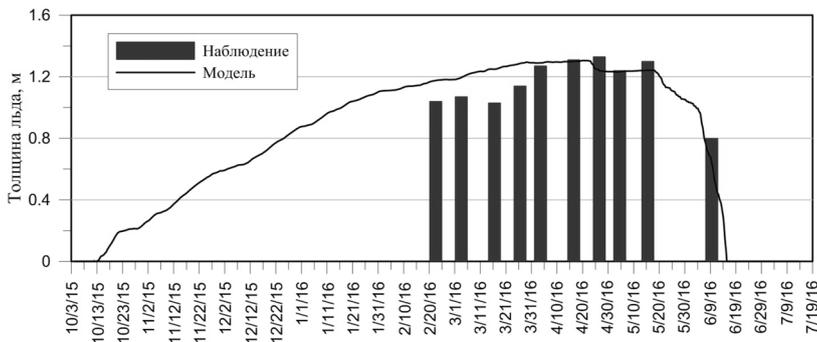


Рис. 2. Годовая динамика и натурные измерения толщины льда в районе мыса Каменный

Анализ погрешностей сопоставления эволюции рассмотренных параметров с данными натурных наблюдений показывает достаточную способность модельного комплекса Delft3D воспроизводить и прогнозировать гидрофизические поля на прибрежных морских акваториях высоких широт с высоким пространственным разрешением. Наибольшие значения погрешностей расчета в основном связаны с качеством исходных данных, использованных в модели.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Даньшина, А. В.** Влияние теплозапаса деятельного слоя Восточно-Сибирского моря на эволюцию ледяного покрова / А. В. Даньшина // Оригинальные исследования. – 2018. – Т.8. – № 5. – С. 4–15.

2. **Casulli, V.** A semi-implicit finite difference method for non-hydrostatic, free surface flows / V. Casulli // International Journal Numerical Methods In Fluids. – 1999. – 30. – P. 425-440.

3. **Semtner, A.J.** A Model for the Thermodynamic Growth of Sea Ice in Numerical Investigations of Climate / A.J. Semtner // Journal of Physical Oceanography. – 1976. – Vol. 6. – P. 379-389

4. **Wang, J.** A Coupled Ice-Ocean Model in the Pan-Arctic and North Atlantic Ocean: Simulation of Seasonal Cycles / J. Wang, Qinzhen Liu, Meibing Jin and et. // Journal of Oceanography. – 2005. – Vol. 61. – P. 213-233

5. **Vancoppenolle, M.** The Louvain-la-Neuve sea Ice Model / M. Vancoppenolle, S. Bouillon, T. Fichefet, and et. // Note du Pôle de modélisation de l'Institut Pierre-Simon Laplace. – 2012. – No 31. – 89 p.

6. **Hunke, E. C.** An Elastic-Viscous-Plastic Model for Sea Ice Dynamics / E.C. Hunke, J.K. Dukowicz // Journal of Physical Oceanography. – 1997. – Vol. 27. – P. 1849-1867

## **О МОНИТОРИНГЕ ЦИКЛОНИЧЕСКОЙ И ШТОРМОВОЙ АКТИВНОСТИ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕСИМО**

**Вязилова Н.А.**

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеороинформации – Мировой Центр Данных»,  
Калужская об., г. Обнинск, ул. Королева, д.6,  
тел.: +7 (499) 795- 21-94, nav@meteo.ru*

В докладе приводится оценка изменчивости штормовой активности в Северной Атлантике на основе показателей мониторинга внетропических циклонов и штормов, выполняемого в рамках проекта ЕСИМО – количества и глубины циклонов, максимальной скорости ветра и интенсивности осадков в циклонах.

The paper shows the changes of extratropical storms in North Atlantic using of cyclone activity monitoring, that is made during the Unified State System of Information on the Global Ocean. The monitoring includes number of cyclone tracks, cyclone frequency, the cyclone depth, maximum storm wind and maximum precipitation near cyclone centers.

Мониторинг циклонической и штормовой активности в Северной Атлантике, а также на европейской территории, проводится в рамках прикладной задачи ЕСИМО (Единой системы информации обстановки в Мировом океане), и включает построение карт и графиков показателей циклонической активности за период исследования с января 1979 г. по настоящее время. Карты представляют траектории циклонов, атмосферное давление, интенсивность осадков и максимальную скорость ветра в центрах циклонов и штормов за последний календарный месяц (рис. 1). Графики показывают временную изменчивость количества циклонов по грациям исследуемых параметров.

Центры циклонов определяются методом автоматической идентификации по данным атмосферного давления на уровне моря, интенсивность осадков и максимальная скорость приземного ветра выбираются из района радиусом 5 град вокруг центра циклона[1]. Параметры циклонической активности рассчитываются на основе 6-часовых данных реанализа NCEP/DOE.

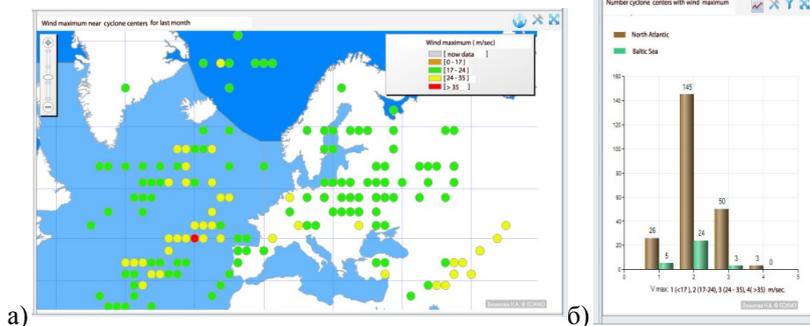


Рис. 1. Пространственное положение и цветовая индикация максимальной скорости приземного ветра в циклонах (а) и повторяемость циклонов по градациям максимальной скорости ветра в различных районах региона (б) за один календарный месяц

Мониторинг циклонической активности дает возможность получить представление о тенденции изменения циклонической деятельности в различных районах исследуемого региона за исследуемый период лет, и прежде всего, о тенденции изменения количества и интенсивности экстремальных циклонов и штормов. Оценка экстремальности циклонической активности проводится на основе анализа временного изменения количества глубоких циклонов (циклонов с давлением в центре от 970 гПа и менее), количества штормов со скоростью ветра от 24 м/сек и выше, а также, количества циклонов с сильными осадками.

Анализ показывает, что в основной зоне шторм-трека Северной Атлантики, в том числе, в районах Исландского и Балтийского морей доля экстремально глубоких циклонов в последние два десятка лет увеличилась до 50% в зимнюю половину года и 60% – в летнюю. Рост количества глубоких циклонов сопровождается усилением их интенсивности, что показывает индикатор циклонической активности (Cyclone activity index), рассчитываемый как сумма аномалий атмосферного давления в центрах циклонов [1].

Во внетропических и приполярных широтах Северной Атлантики, как в летнюю, так и в зимнюю половину года большую часть составляют циклоны со скоростями ветра от 17 до 24 м/сек. Количество циклонов со скоростью ветра менее 17 м/сек и штормовых циклонов, со скоростью ветра более 24 м/сек, в течение практически всего периода одинаковое, и в районе Исландского минимума, например, колеблется от 20 до 40 случаев за зимний сезон. Однако, в последние 10-15 лет в указан-

ных широтах отмечается тенденция к уменьшению циклонов со скоростями ветра менее 17 м/сек и увеличению штормовых циклонов, особенно в летний период года [2].

Согласно исследованию изменения структуры поля приземного ветра в жизненном цикле циклонов, представленного в работе [3], наиболее экстремальные значения скорости ветра в циклоне наблюдаются в момент максимальной интенсивности. Анализ показывает, что доля глубоких циклонов, циклонов с давлением в центре от 970 мбар и менее, в каждой группе штормов по градациям скорости ветра в течение периода исследования постоянно увеличивается. Как видно на примере района Исландского минимума в зимний сезон (рис.2), максимальная доля глубоких циклонов наблюдается в группе штормов со скоростями ветра от 24 м/сек и более, при этом, эта доля постоянно растет, и в последние годы составляет от 60 до 80%.

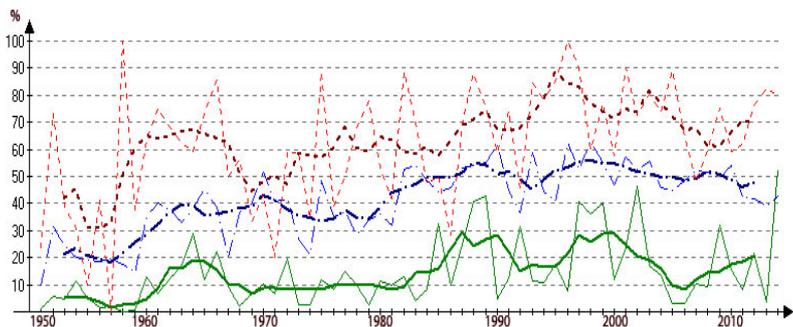


Рис.2. Доля глубоких циклонов (в %) в количестве циклонов по градациям скорости ветра. Район Исландского моря [55n-65n, 40w-10w]. Зимний сезон. Обозначения: (—  $< 17$  м/сек, - -  $17-24$  м/сек, •••  $> 24$  м/сек)

В южных широтах региона, в том числе, в районе Средиземного и Черного морей, циклоническую активность (и повторяемость, и интегральную интенсивность циклонов) обеспечивают умеренные циклоны. Однако, южные широты по сравнению с северными, выделяются более высоким процентом количества циклонов с высокой интенсивностью осадков. Осадки с интенсивностью более 1.25 мм/час наблюдаются в циклонах преимущественно южнее  $55^\circ$  с.ш. При этом, и в умеренных, и приполярных широтах Северной Атлантики за последние два десятка лет наблюдается тенденция к повышению количества циклонов с интенсивными осадками.

Таким образом, анализ циклонической активности на основе показателей и индикаторов, рассчитываемых в рамках прикладной задачи ЕСИМО, свидетельствует не только о повышении количества глубоких циклонов во внетропических широтах Северной Атлантики в последние два-три десятка лет, но и об увеличении количества циклонов, сопровождающихся сильным штормовым ветром и интенсивными осадками, то есть, об усилении экстремальности циклонической и штормовой активности в исследуемом регионе. Данный вывод согласуется с основными выводами других исследователей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Вязилова Н.А.** Циклоническая активность и колебания циркуляции в Северной Атлантике // Метеорология и гидрология, 2012. N 7. С.5–14.
2. **Вязилова Н.А., А.Е Вязилова.** О штормовых циклонах в Северной Атлантике // Метеорология и гидрология, 2014. N.6. С. 19–27.
3. **Bengtsson, L., K. I. Hodges, N. Keenlyside.** Will Extratropical Storms Intensify in a Warmer Climate? – J. Climate, 2009. V. 22. pp. 2276–2301.

УДК 551.465

## ПРЕДЕЛЫ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЦИКЛОНИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА СРЕДНЕГО КАСПИЯ

**Амбросимов А.К., Мельников В.А.**

*Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(916)912-6518 ambrosimov@ocean.ru*

В статье на экспериментальном материале показана сезонная изменчивость течения циклонического круговорота у западного побережья Среднего Каспия. Показаны границы временной изменчивости сезонов ослабления и интенсификации потока.

The article on the experimental material shows the seasonal variability of the flow of the cyclonic gyre off the western coast of the Middle Caspian. The limits of the temporal variability of the seasons of weakening and intensification of the flow are shown.

Результаты изучения течений Каспийского моря в последнее десятилетие показали [2–4], что вертикальная структура циклонического круговорота (ЦК) над западным склоном Среднего Каспия имеет довольно сложный характер. Установлен факт, что циклонический круговорот в классическом смысле всесезонным циклоническим не является. Круглогодичные наблюдения показали, что в холодный сезон круговорот существует, а в теплый – течение ослабевает, меняет направление и даже останавливается. У западного склона в холодный сезон течение во всем потоке направлено одинаково на юго-восток, а в теплый разбивается на ветви – западная ветвь отворачивает на запад, восточная на восток и промежуточная сохраняет юго-восточное направление. Западная часть циклонического круговорота – это единственная ветвь, по которой круглогодично осуществляется перенос вод с севера в Южный Каспий для поддержания уровня моря из-за интенсивного испарения и дефицита стоковых вод [1].

Как показали измерения течений на буйковых станциях в различные сезоны года в восточном и северо-восточном секторах Среднего Каспия, в летний период, начиная с конца мая течение, практически останавливается. Течения в этот период возникают за счет баротропной изменчивости над морем и их движение носит хаотичный характер. Временные границы между холодным и теплым сезонами – это конец мая и начало сентября, однако они не постоянны и зависят от сезонной изменчивости синоптических условий над морем.

В отличие от западной части Среднего Каспия в восточной и северо-восточной части моря, течение в летний период, практически, останавливается и хаотично меандрирует. Временные границы перехода от летнего застоя к зимней интенсификации и обратно не постоянны, смещения могут отличаться на месяц и более от года к году. Это зависит от синоптической изменчивости в регионе.

Прогрессивно-векторные диаграммы течений, которые характеризуют переход от холодного сезона представлены на рис. 1. Данные получены с помощью доплеровских измерителей течений DVS-750, установленных на притопленной буйковой станции (ПБС) ПБС-1501НШ на различных горизонтах в течение года с 7.10.2015 г. по 3.10.2016 г. при постановке станции на глубине 560м на траверзе впадения р. Самур у западного побережья Среднего Каспия. Из диаграмм течений видно, что на всех горизонтах изменение средних скоростей течения происходит синхронно, максимум приходится на январь-февраль, когда скорость достигает 70-80 см/с при средней 47см/с. Несмотря на летнее уменьшение скорости течения поток сохраняет юго-восточное направление, при этом, чем глубже горизонт наблюдений тем выше его скорость.

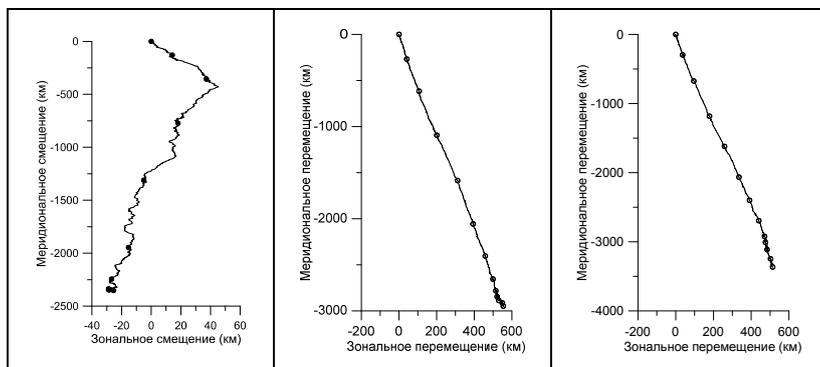


Рис. 1. Прогрессивно-векторные диаграммы течения на горизонтах а) 90 м, б) 388 м и в) 540 м по данным наблюдений на ПБС-1501-НШ (глубина постановки 560 м) за годовой период наблюдений с 7 октября 2015 г. по 3 октября 2016 г. с дискретностью измерений в 1 час, координаты постановки:  $42^{\circ}02,211' \text{ с. ш.}, 48^{\circ}56,44' \text{ в. д.}$  (точками показаны месячные смещения водных масс)

Здесь следует отметить, что поток на различных глубинах ведет себя по разному. Чем дальше от склона – тем лучше поток сохраняет свое направление во всей толще, а чем ближе к шельфу поток разбивается на ветви западную, восточную и промежуточную. Было показано, что в летний сезон придонные течения над склоном разделяются на три ветви – там, где глубина моря составляет около 100-250 м поток движется в западном направлении, на глубинах 300-600 м (промежуточный слой) – на юго-восток и там, где глубина более 600 м – на восток. Прогрессивно-векторные диаграммы течения, рассчитанные по данным наблюдений на горизонтах 540 и 388 м при глубине моря 580 м, показывают одинаправленность течения и указывают на сезонную изменчивость течения. Так, в отличие от зимнего сезона, с мая по октябрь мы видим явное замедление скорости. Анализ результатов измерения скорости течения на ПБС-1501 показал, что за год измерений с 7.10.2015 по 1.10.2016 г на придонном горизонте 540 м средняя скорость была выше, чем скорость течения в толще моря на глубине 388 м, что является новым уникальным фактом. Как видно, за один и тот же промежуток времени длиною в год движение воды в горизонтальном направлении у дна наибольшее.

Спектральный анализ придонного течения по данным измерений на горизонте 560 м показал, что пики на спектральной кривой соответ-

вуют инерционным колебаниям с периодами колебаний 17 час, 7 и 14 сут. Первые соответствуют инерционной частоте колебаний, а вторые синоптической изменчивости над морем.

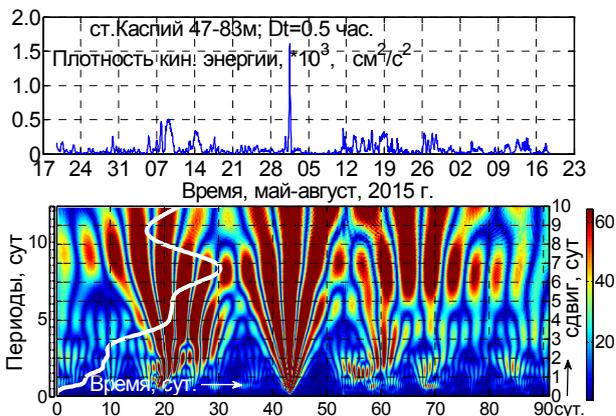


Рис. 3. Вейвлет-диаграмма временной изменчивости скорости течения на горизонте 47 м (глубина 83 м) на бровке склона в западной части Среднего Каспия

В отличие от классического спектрального анализа, когда процесс исследуется в целом, вейвлет-анализ позволяет изучать спектральную изменчивость придонного течения в процессе его развития во времени. На рис. 3 показано развитие во времени процесса придонных течений, где всплески энергии течения на исследуемом временном интервале имеют вид дельта-функций. На диаграмме наблюдается развитие возмущений и переход мелкомасштабных возмущений скорости течения в мезомасштабные. При этом обнаружен интересный факт, когда энергии коротких всплесков разнесенных во времени могут объединяться и переходить в энергию мезомасштабного возмущения. Согласно исследованиям [9] западная ветвь ЦК, выходящая на шельф может получать импульс энергии от взаимодействия с шельфовыми течениями и ветровыми полями, которые направлены в противоположном ЦК направлении – на северо-восток. В результате такого взаимодействия течение закручивается в антициклонический вихрь, скорости течения на периферии вихря могут достигать 1.5 м/с. Сам вихрь при этом может двигаться со скоростью несколько см/с. На рис. 4 показано развитие вихря во времени на западном склоне Среднего Каспия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Система Каспийского моря – М.: Научный мир, 2016. / Под ред. **А.П. Лисицына**. Т.1. 473 с.
2. **Амбросимов А.К., Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Духова Л.А., Козина Н.В.** Комплексные исследования системы Каспийского моря во 2-м рейсе научно-исследовательского судна “Никифор Шуревков” летом 2013 г. // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 2. С. 344–347.
3. **Амбросимов А.К., Лукашин В.Н., Буренков В.И. и др.** Комплексные исследования системы Каспийского моря в 32-м рейсе научно-исследовательского судна «Рифт» // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 4. С. 751–757.
4. **Клювиткин А.А., Амбросимов А.К., Кравчишина М.Д., Духова Л.А., Козина Н.В.** Комплексные исследования системы Каспийского моря во 2-м рейсе научно-исследовательского судна “Никифор Шуревков” летом 2013 г. // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 2. С. 344–347.

УДК 551.465

### **СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИДОННЫХ ТЕЧЕНИЙ И ТЕМПЕРАТУРЫ В СУБАРКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА ЗА ПЕРИОД ГОДОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 2016-2017 ГГ.**

**Амбросимов А.К., Мельников В.А., Клювиткин А.А.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(916)912-6518 ambrosimov@ocean.ru*

В статье представлены результаты наблюдений за придонной циркуляцией течений и температуры в арктической части Атлантического океана, полученные на притопленных буйковых станциях по разрезу 59,5о с.ш. в течение 2016 – 2017 гг. Показана внутrigодовая изменчивость придонной скорости, температуры и энергии течений.

The article presents the results of observations of the benthic circulation of currents and temperatures in the Arctic part of the Atlantic Ocean, obtained at submerged buoy stations along the section 59.5°N. during 2016–2017. Intra-annual variability of bottom velocity, temperature, and energy of currents is shown.

Теплые струи Гольфстрима, проникая в северо-восточный сектор Арктики, определяют погоду континента Европы. Пришедшие с юга воды охлаждаясь в арктическом бассейне погружаются и по дну океана движутся в обратном направлении на юг. Наиболее холодные и плотные воды, участвующие в формировании потока глубинных вод на юг, образуются в результате интенсивного охлаждения поверхностных вод в прилегающей к Атлантическому океану части арктического бассейна к востоку от Гренландии. Интенсивность переноса глубинных вод северной Атлантики в низкие широты не являясь постоянной, оценки переноса глубинных вод в южном направлении выявили максимальный перенос в первой половине 1980-х годов и минимальные переносы во второй половине 1950-х годов и в первой половине 1990-х годов [1–3]. Передача тепла из океана в атмосферу в субарктической Атлантике представляет особый интерес в связи с определяющим его влиянием на климатические глобальные изменения, особенно Европы. Это определяет развитие масштабных мировых исследовательских проектов по изучению взаимодействия океана и атмосферы [4–5, 7–9].

Целью данного исследования является оценка пределов изменчивости скоростей течений и энергии в придонной области арктической части Атлантического океана. Измерения вдоль гидрологических разрезов позволяют определить пространственную структуру крупномасштабных гидрофизических полей. При анализе пространственных вариаций необходимы оценки о временной изменчивости гидрофизических параметров в широкой полосе частот – от годовых (сезонных) до высокочастотных колебаний внутренних волн и турбулентности, которые можно выполнить только при измерениях *in situ*. При оценке течений и потоков при динамическом методе, необходимы измерения параметров в некоторых избранных (реперных) точках наблюдаемого поля в течение продолжительного периода времени, а также калибровка спутниковых данных дистанционных зондирований при помощи измерений *in-situ*.

В июне 2016 г. в 68 рейсе НИС «Академик Иоффе» на трансатлантическом разрезе по 59.5° с.ш. в координатах 17°59.980', 26°39.82' и 32°49.647' з.д. на глубинах 2175, 2183 и 2134 м были установлены доплеровские измерители течений на трех притопленных буйковых станциях (ПБС), которые были подняты через год в июле 2017 г. в 35-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш». Станции были укомплектованы автономными доплеровскими измерителями течений DVS-750, DVS-6000 и Aquadopp-6000. Наблюдения на станциях выполнялись в течение года с дискретностью измерений – один час.

Наблюдение за течением на придонном горизонте показало, что в восточной части Исландского бассейна на ст.3540 между поднятием Роколл и хребтом Рейкьянес (глубина океана в точке постановки станции – 2229 м, координаты: 59°30.045'с.ш. и 17°59.980'з.д. (рис. 1а) на горизонте 2175 м в течение всего года с июня 2016 по июль 2017 г. наблюдалось придонное течение северо-восточного направления со среднегодовой скоростью 6.9 см/с (рис. 1а). На прогрессивно-векторной диаграмме течения, построенной по этим данным, заметно слабое воздействие внутренних волн на течение, не нарушающих общую картину движения вод на северо-восток. Перенос водных масс в СВ направлении за год составил около 950 км. Температура придонного потока воды в течение года изменялась в пределах от 3.14°С до 3.59°С, при средней 3.37°С. Некоторое относительное увеличение температуры наблюдалось в апреле и мае 2017 г.

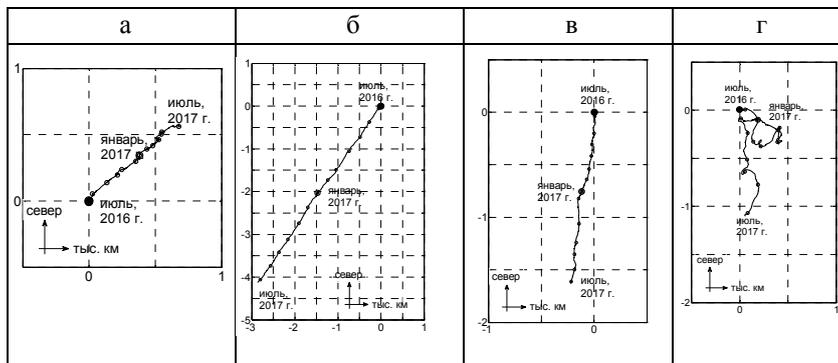


Рис.1. Прогрессивно-векторные диаграммы течений в субарктической Атлантике: а) станция 3540, горизонт 2175 м, на западном склоне банки Хэттон; б) станция 3562, горизонт 2183 м на восточном склоне хребта Рейкьянес; в, г) станция 3580, горизонт 2134 м и 446 м, на западном склоне хребта Рейкьянес

На ПБС-3562, установленной в центре разреза у восточного подножия хребта Рейкьянес (рис. 16) на горизонте – 2183 м (глубина океана 2237 м, координаты: 59°29.791'с.ш. и 26°39.821' з.д.) фиксировалось равномерное движение воды в течение всего года в ЮЗ направлении со средней скоростью ~16 см/с. Общий перенос вод в ЮЗ направлении за год наблюдений составил ~4850 км, что в 5 раз больше, чем перенос в восточной части Исландского бассейна на ПБС-3540. Температура

придонного потока воды на ПБС-3562 в течение года изменялась в пределах от 2.64 °С до 3.21°С, при средней 2.90°С. Некоторое относительное увеличение температуры также как и на ст.3540, наблюдалось в апреле и мае 2017 г. [2].

ПБС-3580 была поставлена в восточной части моря Ирмингера (рис. 1в,г) у западного подножия хребта Рейкьянес. На ПБС было установлено два ADCP – один на горизонте 2134 м и второй на 446 м (глубина 2203 м, координаты: 59°30.018' с.ш. и 32°49.647'з.д.). Прогрессивно-векторная диаграмма протяженностью 1620 км, построенная по данным наблюдений на придонном горизонте 2134 м, показала, что течение здесь направлено, практически, в южном направлении в течение всего года. На течение заметное влияние оказывают внутренние волны и вихревые структуры, образующиеся в верхних слоях океана. Среднегодовая скорость составила 6,4 см/с. Усиление средней скорости до 10,4 см/с отмечено в феврале месяце.

Верхний горизонт 446 м ПБС-3580, в отличие от нижнего, находился под воздействием крупномасштабного циклонического вихря диаметром более 300 км, который с июня 2016 по март 2017 г. находился в зоне наблюдения доплеровского профилографа течений DVS. Прогрессивно-векторная диаграмма движения водных масс вихря искажена мезомасштабными возмущениями (рис. 1г). Результирующий годовой перенос вод в южном направлении составил около 1000 км. Среднегодовая скорость течения и дисперсия на этом горизонте в среднем были в 1,5 раз выше, чем на придонном горизонте и составили 9.7 и 6.5 см/с соответственно.

Среднемесячные скорости и направления течения в течение всего года носят довольно стабильный характер. Наибольшая скорость и дисперсия наблюдались на промежуточном горизонте 446 м у западного подножия склона и на придонном 2237 м у восточного склона хребта Рейкьянес. Оценка пределов изменчивости скорости и энергии течений и температуры показала, что в восточной части разреза движения водных масс направлено в арктическую часть Атлантики в СВ направлении с температурой, превышающей температуру выходящего из Арктики потока на ~0.5°. На всех горизонтах, кроме ПБС-3562, максимальные скорости течения были больше средних в 3-4 раза, а на ПБС-3562 – только в два раза. Влияние внутренних волн на течение, которые генерируются горным массивом на дне океана при обтекании его баротропными приливными течениями, довольно слабое. Кинетическая энергия среднего течений и энергия турбулентных возмущений максимальны на ПБС-3562 на горизонте 2237 м и на ПБС-3580 на горизонте 446 м в зоне

действия циклонического круговорота, которые соответственно равны 143 и 75  $\text{см}^2/\text{с}^2$  и 28 и 42  $\text{см}^2/\text{с}^2$ .

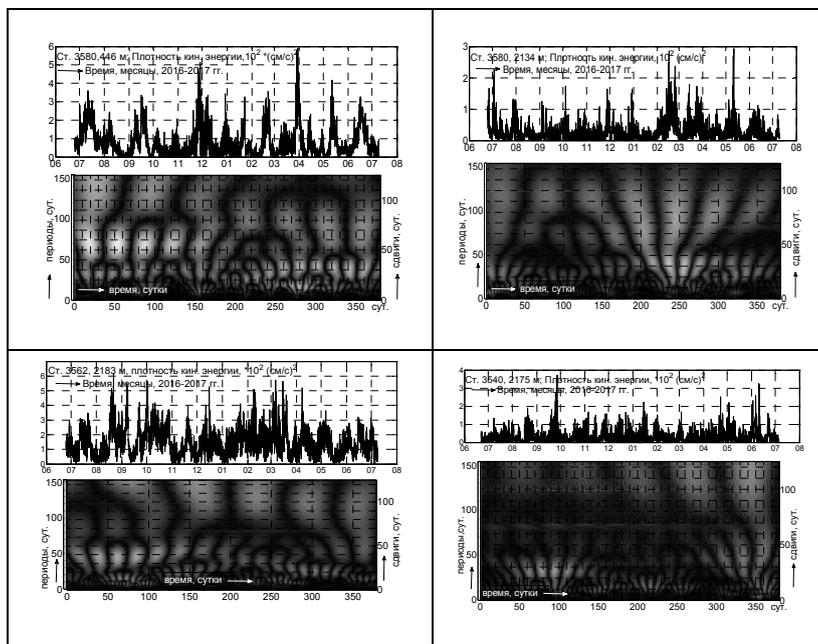


Рис. 2. Вейвлет-диаграммы плотности энергии на станциях 3580 (446 м), 3680 (2134 м), 3562 (2183 м) и 3540 (2175 м)

На спектрах отмечены приливные и инерционные колебания с амплитудами до 20  $\text{см}/\text{с}$  и периодами 13,9 и 12,4 часа соответственно, а также синоптические возмущения с периодами 4,5 и 17 суток. Вейвлет-спектрограммы, рассчитанные для придонных горизонтов демонстрируют переходы между возмущениями различных временных масштабов, из которых следует (рис. 2), что процесс преобразования энергии временных возмущений происходит каскадно. Спектрограмма, рассчитанная для данных скорости течения на горизонте 446 м (ПБС-3580), показывает, что в некоторых случаях каскадный процесс прерывается и диссипация энергии происходит при неизменности временного масштаба возмущения. На вейвлет-диаграммах плотности энергии наблюдаются процессы слияния энергий коротких всплесков, разнесенных во времени, в энергию мезомасштабного возмущения. Сравнение хронограмм

баротропных компонент геострофического течения на поверхности, вычисленных по спутниковым данным уровня моря, показало, что прослеживается связь с данными измерения течений на глубине 446 м и в придонном слое на глубине 2134 м. Анализ долговременных спутниковых данных (1993-2018 гг.) показал, что существует межгодовая изменчивость океанологических полей, которая возможно связана с долгопериодными климатическими изменениями Земли, в том числе и с Эль-Ниньо.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гладышев С.В., Гладышев В.С., Соков А.В., Гулев С.К., Паутова Л.А., Демидов А.Б. // ДАН. 2017. Т.473. № 1. С.93–97.
2. Марчук Г.И., Кондратьев К.Я., Саркисян А.С. // Итоги науки и техники. Сер. Атмосфера, Океан. Космос, программа Разрезы. 1989. Т. 10. 240 с.
3. Саркисян А. С. // Вестник АН СССР, 1983, № 10, С. 83—89.
4. Broecker W.S. // Oceanography, 4(2), 1991, pp.79–89.

УДК 551.46

### ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЭВОЛЮЦИЮ ТОЛЩИНЫ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ПО ДАННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЯ В АРКТИКЕ

**Даньшина А.В.**

*Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт,  
ул. Беринга, 38, 199397, г. Санкт-Петербург, +7 904 551-02-93, danshina@aari.ru*

В этом исследовании для изучения влияния гидрофизических параметров океана на эволюцию морского льда мы используем региональную совмещенную конфигурацию модели NEMO для Арктики «морской лед – океан». Региональные особенности влияния этих параметров на толщину морского льда были выявлены и проанализированы.

In this study we use Arctic regional sea-ice coupled configuration of the NEMO model to examine the effects of ocean hydrophysical parameters on the sea ice evolution. Regional features of these parameters effect on the sea ice thickness were revealed and analysed.

В связи с резкими изменениями глобальной климатической системы и сокращением ледяного покрова [1, 2] Северный Ледовитый океан, как один из ее чувствительных компонент и важнейших индикаторов, при дефиците натуральных данных вызывает необходимость прибегать к численному моделированию для восстановления его гидрофизических полей [3,4]. Предлагаемое к рассмотрению исследование построено на анализе данных численных экспериментов, которые были получены с помощью адаптированной к условиям Арктики региональной конфигурации модели NEMO (англ. The Nucleus for European Modelling of the Ocean) [5], разработанной для изучения изменений, происходящих в структуре арктических морских вод и эволюции ледяного покрова.

Региональная модель NEMO для Арктического региона с двумя открытыми границами имеет пространственное разрешение до 3 км в морях прибрежной зоны Российской Федерации. Ледовый блок LIM (англ. Louvain-la-Neuve sea Ice Model) совмещен с основным блоком модели OPA (англ. Ocean PArallelis), обеспечивающим описание физических процессов, протекающих в океане. В конфигурации региональной модели в качестве расчетной используется ортогональная криволинейная сетка. Она представляет собой разнесенную разностную сетку, относящаяся к сетке типа «С» по классификации Аракавы с 74 расчетными уровнями по вертикали.

В адаптированную конфигурацию для Арктического региона приливы добавляются путем введения 13 приливных гармоник на открытых границах расчетной области. Эти данные получены с помощью инверсионной приливной модели TPXO7.2 [6]. Начальное распределение температуры, солености и параметров морского льда, а также океанографические величины, необходимые для воспроизведения граничных условий проинтерполированы из данных океанского реанализа проекта «MERCATOR OCEAN» (<http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/>) с 0.25 градусным разрешением. Для задания потоков на границе раздела океан-атмосфера используются 8 входных полей данных атмосферного реанализа ERA-interim Европейского центра среднесрочного прогноза погоды ECMWF (англ. European Centre for Medium Range Weather Forecast (<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/archive-datasets>)). Эти данные интерполируются в узлы расчетной сетки «на лету» процедурой, предусмотренной в модели NEMO. Сами потоки рассчитываются по балк-формулам CORE-II (англ. Common Ocean-Ice Reference Experiments).

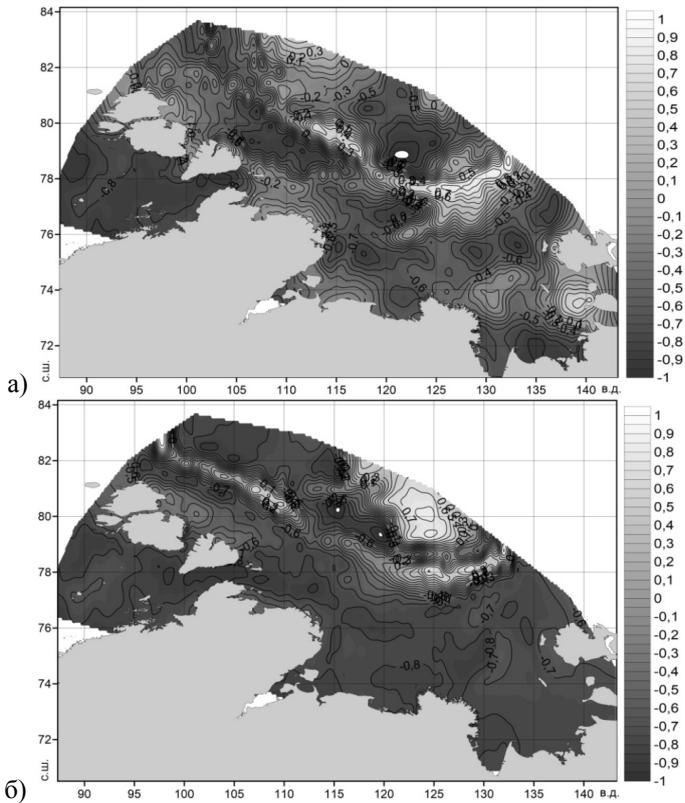


Рис. 1. Пространственное распределение коэффициентов взаимной корреляции между теплозапасом деятельного слоя моря и толщиной ледяного покрова при нулевом сдвиге по времени: в «холодном» 2004 г. (а) и «теплом» 2007 г. (б)

Разгон региональной конфигурации модели составил 3 года. Проведенные на ней численные эксперименты за расчетный период с 2000 года по 2017 год позволили произвести некоторые оценки воздействия гидрофизических величин на изменчивость ледяного покрова в Арктическом регионе. Так, например, на основе рассчитанного теплозапаса деятельного слоя морей российского сектора Северного Ледовитого океана были построены поля взаимнокорреляционной функции между теплозапасом и толщиной ледяного покрова, как в [7]. Пространствен-

ное распределение коэффициента взаимнокорреляционной функции наглядно демонстрируют проявление воздействия теплосодержания деятельного слоя на изменение толщины ледяного покрова. Наиболее ярко изменения степени влияния теплосодержания на динамику толщины льда по площади акватории морей проявляются при сравнении распределения взаимнокорреляционной функции в период наиболее контрастных по ледовому режиму лет. На рис. 1 продемонстрированы поля коэффициентов взаимнокорреляционной функции в «холодный» 2004 год и «теплый» 2007 год в море Лаптевых.

О степени влияния теплозапаса на толщину льда можно судить по отрицательным величинам коэффициента взаимной корреляции между этими параметрами. Чем больше по величине отрицательный коэффициент взаимной корреляции, тем больше тепла накопил деятельный слой и, следовательно, меньшей толщиной будет обладать ледяной покров. Видно, что в пространственном распределении в «холодном» году выделяются локальные очаги повышенных отрицательных значений коэффициента взаимной корреляции (рис. 1а), в то время как в «теплый» год повышенные величины этого коэффициента в целом охватывают большую часть акватории моря Лаптевых (рис. 1б). По пространственному распределению значимой величины отрицательных значений взаимнокорреляционной функции можно выделить районы, в которых влияние теплозапаса на толщину льда велико и его можно учитывать, в том числе при прогнозировании ледовой обстановки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Состояние арктических морей и территорий в условиях изменения климата: сб. тезисов Всероссийской конференции с международным участием / Под ред. С. В. Рябченко. – Архангельск: ИД САФУ им. М.В. Ломоносова, 2014. – 199 с.
2. Океанография и морской лёд / Под ред. И. Е. Фролова. – М.: Паулсен, 2011. – 432 с.
3. **Чанцев В. Ю.** Многофункциональная комплексная модель водной системы Обской губы / В. Ю. Чанцев, Ю. П. Гудошников, Д.А. Плешанов, А. А. Скутин, А. В. Даньшина // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». – 2018. – №4 (36). – С.139–148.
4. **Иванов В. В.** Трансформация атлантической воды в восточной части котловины Нансена по данным наблюдений и моделирования / В. В. Иванов, Е. О. Аксенов // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2013. – №1. – С.72–87.

5. **Madec, G.** NEMO ocean engine, Version 3.6 stable / G. Madec // Note du Pôle de modélisation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), France. – 2016. – № 27. – 396 pp.

6. **Egbert, D. G.** Efficient inverse modelling of barotropic ocean tides / D.G. Egbert, S.Y. Erofeeva // J. Ocean. Atmos. Technol. –2002. – V. 19. – № 10. –P. –182–204.

7. **Даньшина А. В.** Влияние теплозапаса деятельного слоя Восточно-Сибирского моря на эволюцию ледяного покрова / А. В. Даньшина // Оригинальные исследования. – 2018. – Т.8. – № 5. – С. 4–15.

УДК 536.5

## **ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ТЕРМОПРОФИЛЕМЕРОВ**

**Гайский В.А., Гайский П.В.**

*Институт природно-технических систем,  
ул. Ленина, 28, 299011, г. Севастополь, +7(978)7039485, gayisky@inbox.ru*

Приводится опыт использования распределенных датчиков температуры (термопрофилеметров), разработанных и созданных для контроля профилей и полей температуры, а в варианте “электронной мерной рейки” – одновременного измерения уровня, границ раздела сред и пространственного коэффициента теплообмена.

Experience of use of the distributed temperature sensing devices (thermoprofilemeter) developed and created for monitoring of temperature profiles and fields is given, and in option of "an electronic measured lath" for simultaneous measurement of level, demarcations of environments and spatial coefficient of heat exchange.

Первоначально распределенные термопрофилеметры были разработаны для измерения профилей температуры и коэффициента теплообмена датчика со средой в море [1–2] с целью устранения погрешностей временной изменчивости и погрешности непосредственной дискретизации (рис. 1). Отличительной особенностью прибора является принцип измерения мгновенного профиля температуры, основанный на разложении

функции профиля в ряд по ортогональным функциям, позволяющий уменьшить погрешность пространственной дискретизации при использовании термоподвесок точечных датчиков и исключить необходимость сканирования зондом.

Результаты испытаний в морских применениях показали возможность использования показаний термопрофилемеров и для расчета динамических характеристик, таких как период и амплитуда внутренних волн, параметры поверхностного волнения [2–4] (рис. 2).

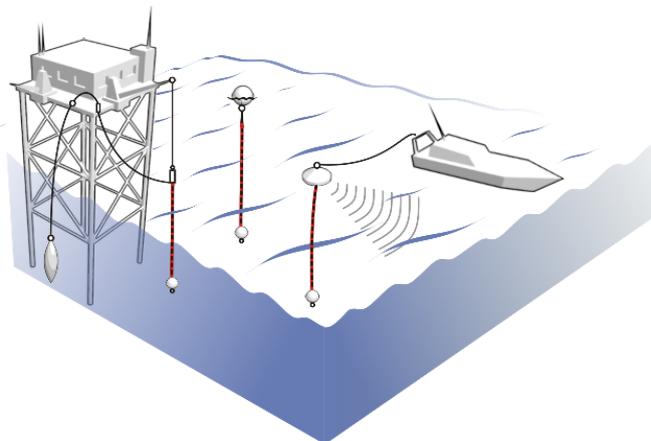


Рис. 1. Варианты применения морских датчиков

В зависимости от поставленных задач длина и разрешение термопрофилемеров могут варьироваться от миллиметров до десятков метров. Знание точных конструктивных параметров измерительного кабеля датчика и положения в пространстве позволяет использовать его не только в качестве измерителя непрерывного профиля температуры, но и контролировать с определенной точностью положение границы раздела сред (уровни) [2,5]. Для решения этой задачи используются известные и разработаны новые методы и алгоритмы, основанные на свойствах теплообмена датчика со средой, а также комбинации измерителя из одного и двух пассивных или активных распределенных датчиков.

Возможные пределы технических параметров термопрофилемеров представлены в таблице.

Спектр применения распределенных датчиков температуры очень широк. В процессе исследований были разработаны и проведены пробные испытания модифицированных термопрофилемеров для зернового

элеватора (32 метра в защитной грузонесущей оболочке), для ледника (64 метра), для грунта (3,2 метра), для бака с жидкостью (комбинированный из пассивного и активного длиной 1 и 2 метра) и др. [5,6].

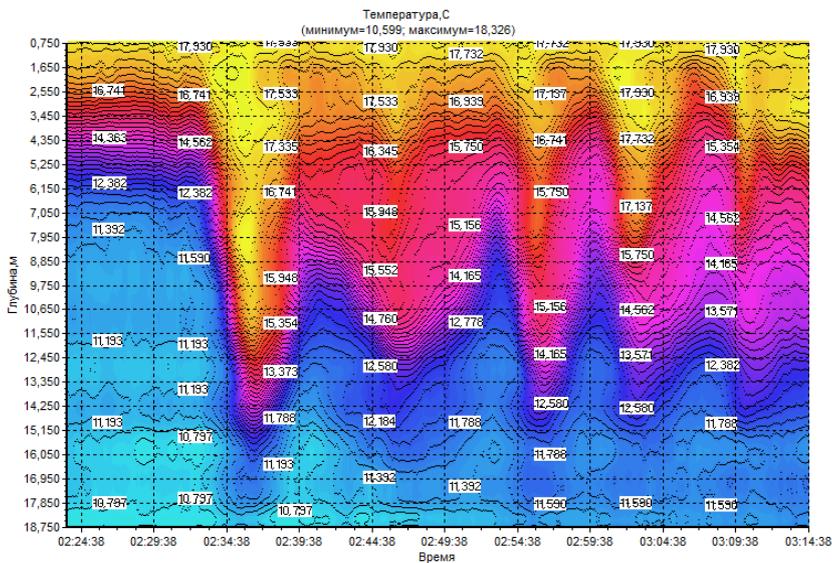


Рис. 2. Пример записи измерений вертикальных профилей температуры и внутренних волн, полученных с помощью термопрофилера, установленного на океанографической платформе п. Кацевели, Крым

Таблица – Общие технические характеристики

Параметр	Значение
Длина измерительного кабеля	от см до десятков метров
Пространственное разрешение	от см до десятков метров
Диапазон измерения	от -40 до 80 °С
Порог чувствительности	0,003 °С
Погрешность	Менее 0,1 °С
Тепловая инерционность	от 5 до 40 сек.
Интервал временной дискретизации	от 0,1 сек.
Энергопотребление	до 5 Вт
Диапазон измерения уровня	по общей длине датчика
Порог чувствительности по уровню	0,1 от длины участка

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Гайский В. А.** Распределенные термопрофилемеры и их возможности в океанографических исследованиях / П. В. Гайский // Морской гидрофизический журнал. – 1999. – № 6. С. 108–137.
2. **Гайский В. А.** Использование распределенных датчиков для температурных измерений в море / П. В. Гайский // Научная монография. Севастополь: ИПТС. – 2018. 200 с.
3. **Гайский В. А.** Технологии измерения уровня моря / П. В. Гайский // Морской гидрофизический журнал. – 2010. – № 4. С. 58–73.
4. **Гайский В. А.** Определение характеристик поля внутренних волн по измерениям распределенными термопрофилемерами / П. В. Гайский // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. – 2017. Вып. 7 (27). С. 6–11.
5. ПАТЕНТ РФ № 2250439. Способ определения положения границ раздела сред. **Гайский В.А.**, Гайский П.В. Опубл. – 20.04.2005. Бюл. №11.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПА НАИМЕНЬШЕГО ДЕЙСТВИЯ В ОПРЕДЕЛЕНИИ АБСОЛЮТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ГЕОСТРОФИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ

**Соколов В.А.**

*Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова*

На основе принципа наименьшего действия получено аналитическое решение задачи диагностических расчётов абсолютных значений геострофических скоростей морских течений по заданным в верхнем слое глубины  $z=D$  значениям плотности морской воды  $-\rho$ . Приводятся результаты анализа полученного решения, обосновывается его научная и практическая значимость.

Based on the principle of least action, an analytical solution was obtained for the problem of diagnostic calculations of the absolute values of the geostrophic velocities of sea currents according to the values of the density of seawater  $-\rho$  given in the upper layer of the depth  $z = D$ . The results of the analysis of the obtained solution are presented, its scientific and practical significance is substantiated.

Описывается аналитическое решение задачи диагностических расчётов морских геострофических течений на отсчётном горизонте по заданным значениям плотности морских вод –  $\rho$  в слое от поверхности до промежуточного горизонта  $z=D$ , не доходящего до дна. Искомые скорости течений определяются по распределению неоднородностей  $\rho$  в пространстве, проводимых с помощью оператора, полученного на основе принципа наименьшего действия (ПНД), на основе которого в теоретической механике выводится второй закон Ньютона (Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц, 2004) и геострофических уравнений динамики морских вод (Д. Педлоски, 1984). Такая постановка задачи соответствует существующему на сегодняшний день состоянию мониторинга морских полей температуры –  $T$  и солёности –  $S$ , проводимых с платформ автоматических ныряющих буёв Арго в слое от 0 до 2000 м и обеспечивающих, более 90% поступления данных о текущем состоянии вод Мирового океана. Сформированный для применения ПНД лагранжиан, представляющий разницу кинетической и потенциальной энергий морских вод, в слое от поверхности до  $z=D$ , имеет относительно искомым скоростей течений форму квадратичного функционала. Уравнения, определяющие его минимум по искомым неизвестным, выводятся при его дифференцировании по неизвестным скоростям течений и приравниванием нулю полученных при дифференцировании алгебраических выражений. Для полученных, таким образом, уравнений приводится их аналитическое решение и осуществляется его проверка, основанная на выполнении геострофических соотношений для составляющих скоростей течений, записанных на двух глубинах задания отсчётных горизонтов  $z=D_1$  и  $z=D_2$ . Показывается, что при наличии плотности морских вод от поверхности до дна и отказе от учёта доступной потенциальной энергии морских вод при определении искомым скоростей течений, полученное решение совпадает с решением аналогичной задачи, предложенное Л.М. Фоминым (1985), скорости течений на отсчётном горизонте из условия минимума кинетической энергии вод в слое от поверхности до дна. Зависимость полученного решения от глубины задания плотности морских вод предлагается использовать для оценки его точности. Практическая значимость решения поставленной задачи обеспечивается:

- отсутствием в нём проблем согласования заданных значений плотности морских вод на нижних горизонтах с существующей в тех же масштабах осреднения информации о рельефе дна (А. Гилл, 1986):
- возможностью его использования при обработке полученных на гидрологических разрезах и полигонных гидрологических съёмках значений плотности морских вод в открытых частях морей и океанов, которые, как правило, не доходят до дна.

## ПУЛЬСИРУЮЩИЕ ТЕЧЕНИЯ НАД ХРЕБТОМ РЕЙКЬЯНЕС

**Мельников В.А., Амбросимов А.К., Ключиткин А.А.**

*Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Нахимовский проспект, 36,  
117997, г. Москва, 8(499) 124 63 83, vmelnikov@ocean.ru*

На основе временных рядов измерений придонных скорости течений и температуры, полученных в период с июня 2016 года по июль 2017 года, в трёх точках в зоне Субарктического фронта Атлантики, наряду с использованием многолетних спутниковых данных зондирований поверхности океана в приполярном регионе, рассматриваются разномасштабные пульсации поверхностных и придонных течений над западным и восточным склонами хребта Рейкьянес и вблизи поднятия Хэттон, на плато Рокколл.

On the basis of in-situ hydro-physical one year long time series, acquired in June, 2016 – July, 2017, in the North Atlantic Subpolar Gyre, alongwith the use of up to date satellite data, details of multy-scale pulses of surface and near-bottom flows over Reykjanes Ridge flanks and near the Hatton Bank (Rockall Plateau) are presented.

В рамках многолетней гидрофизической программы [1] Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН, на трёх буйковых станциях, в течение года, с июня 2016 г. по июль 2017 г., с дискретностью 1 час, были выполнены измерения скорости течений и температуры воды в придонном слое, на флангах хребта Рейкьянес и вблизи поднятия Хэттон (плато Рокколл), рис. 1. При постановке и снятии буйковых станций были выполнены гидрологические зондирования от поверхности до дна, с отсчётами через 10 м. Для изучения циркуляции вод и процессов обмена в приполярной Атлантике, использовались также данные гидрологических станций (WOD), спутниковые массивы ТПО (Pathfinder), уровня моря и геострофических скоростей течений на поверхности моря (AVISO) и рельефа дна (модель ETOPO-1).

Измерения проведены на акватории Исландского бассейна, где в южной части происходит разветвление Северо-Атлантического течения и, в западной части, образуется Субарктический круговорот, вхо-

дящий в систему крупномасштабных круговоротов Северной Атлантики. В этом регионе тёплые Северо-Атлантические воды нагревают воздушные массы, которые переносятся западными ветрами (в диполе НАО) и смягчают климат Западной Европы. С другой стороны, в результате охлаждения и конвекции вод по обе стороны от Гренландии, а также перетока холодных арктических вод через Гренландско-Шотландское поднятие, образуются глубинные воды Северной Атлантики и создаётся поток их к экватору в нижней ветви системы АМОС, как следует из общей концепции глобального “Конвейера Брокера” в Мировом океане [2].

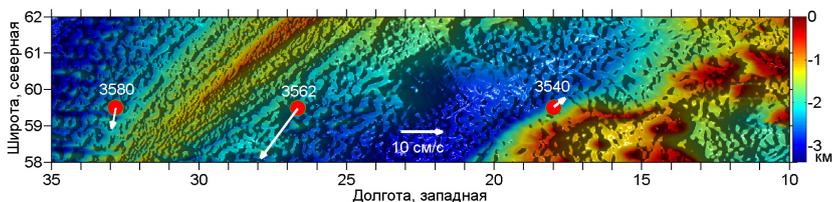


Рис. 1. Положение притопленных буйковых станций на фоне рельефа дна Северной Атлантики, в полосе вдоль гидрологического разреза ИО РАН – 59.5° с.ш. Рельеф дна – по модели ETOPO-1. Красные кружки отмечают положение, а цифры – номера буйковых станций. Стрелками показаны векторы средних за год придонных течений

Буйковые станции были расставлены поперёк границы водных масс – Субарктического фронта (рис.2). Станция № 3580 находилась в зоне Субарктической водной массы, ст.3540 – в Северо-Атлантической воде, а ст. 3562 – в области промежуточных вод, образующихся при трансфронтальном обмене. Соответственно термохалинной структуре, геострофические течения (AVISO) на поверхности океана направлены генерально на северо-восток, с плотностью кинетической энергии ( в среднем за 25 лет) 106, 45, 86 ( $\pm 3$ ) эрг/см<sup>3</sup> для станций 3580, 3562, 3540, соответственно. Поток на ст. 3580 соответствует направленной к Исландии ветви Северо-Атлантического течения, которая образует восточную часть Субарктического циклонического круговорота. Течение на ст. 3540 является продолжением главной ветви Северо-Атлантического течения и направлено в сторону Исландско-Фарерского поднятия. В промежуточных водах, на станции 3562, наблюдаются течения с меньшими скоростями и большой завихренностью.

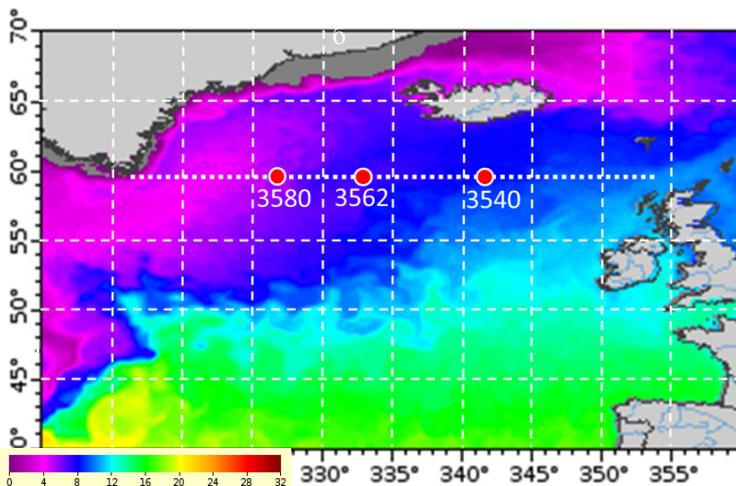


Рис. 2. Структура крупномасштабной фронтальной зоны в субполярной области Северной Атлантике по спутниковым данным температуры поверхности океана, в зимний сезон (2015-12-01). Точечная линия отмечает положение многолетнего гидрологического разреза Института океанологии РАН. Красные кружки отмечают положение, а цифры – номера буйковых станций

Придонные течения на склонах хребта Рейкьянес (ст. 3580, 3562), противоположны по направлению Северо-Атлантическому течению на поверхности океана. Напротив, вне Субарктического круговорота (ст. 3540, около банки Хэттон), дрейф на северо-восток прослеживается до дна. Кинетическая энергия течений около дна – 27, 143, 31 ( $\pm 1$ ) эрг/см<sup>3</sup>, для станций 3580, 3562, 3540, соответственно. В зоне промежуточных вод, на восточном склоне хребта Рейкьянес, имеет место мощный реверсивный (относительно Северо-Атлантического течения) поток вод на юго-запад, с большой средней скоростью  $\sim 15$  см/с.

Плотность кинетической энергии течений изменяется в широких пределах: от нуля до  $\sim 800$  эрг/см<sup>3</sup>. Общая изменчивость обусловлена циклическими вариациями и перемежаемостью (“вспышками”) колебаний. Выделяются многолетние (3–5-летние) циклы, сезонные колебания, синоптические вариации с периодами в интервале 30–300 суток, а также инерционные и полусуточные приливные колебания. На синоптических масштабах баротропная компонента течений прослеживается до дна.

Пережимаемость колебаний энергии течений (рис.3) частично связана с изменениями средних (низкочастотных) течений, которые могут приводить к сдвигу частоты циклических составляющих спектра, т.к. по измерениям в точке наблюдается доплеровская частота  $\omega = \omega_0 + U \cdot k$ , где  $U$  – скорость течения,  $k$  – волновое число пространственной неоднородности поля.

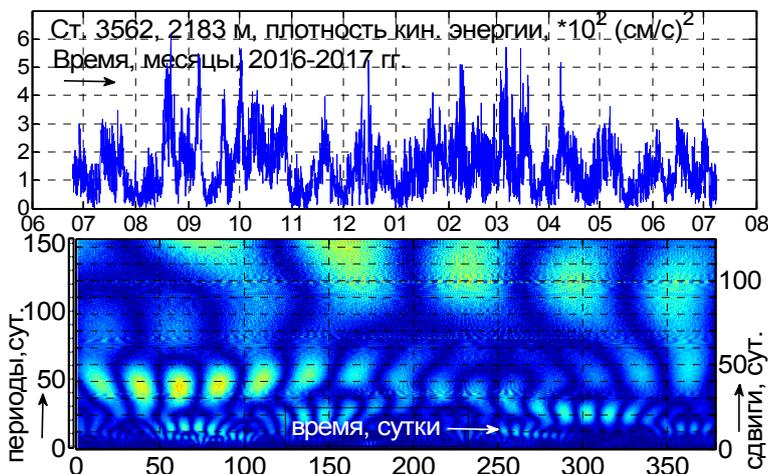


Рис. 3. Плотность кинетической энергии и её вэйвлет-диаграмма на ст. 3562. Горизонт измерений – 2183 м, глубина моря – 2237 м

Отмечается, что при долговременных измерениях средние статистические характеристики реализации неадекватны, в силу существенной нестационарности и неоднородности процессов.

Работа выполнена по теме госзадания № 0149-2018-0003.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Sarafanov A., Falina A., Sokov A., Zapotytko V., Gladyshev S.** Ship- Based Monitoring of the Northern North Atlantic Ocean by the Shirshov Institute of Oceanology. The Main Results. – The Ocean in Motion. – Springer Oceanography.–M.G.Velarde et al.(eds.).– 2018.– PP.415–427.
2. **Buckley, M. W., Marshall J.** Observations, inferences, and mechanisms of Atlantic Meridional Overturning Circulation variability: A review. - Rev. Geophys. – 2016. – V. 54. – PP. 1-59.

## АТЛАНТИЧЕСКИЕ ВОДЫ В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ В УСЛОВИЯХ СОКРАТИВШЕГОСЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА

**Иванов В.В.<sup>1,2</sup>, Репина И.А.<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, 119991, г. Москва, +79112743022, vladimir.ivanov@aari.ru*

<sup>2</sup> *Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, ул. Беринга, 38, 199397, г. Санкт-Петербург, +7812 3377176*  
*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова, РАН, 119017, Пыжевский пер. 3, г. Москва, +74959518549, repina@ifaran.ru*

В докладе представлены результаты недавних (2013, 2015) натурных исследований состояния атлантических вод в Северном Ледовитом океане в сравнении со средне-климатическим режимом в XX веке.

The report presents the results of recent (2013, 2015) field studies of the state of the Atlantic waters in the Arctic Ocean in comparison with the climatic regime in the 20th century.

Атлантические воды (АВ) являются основным адвективным источником тепла, который в значительной степени формируют тепловой баланс Северного Ледовитого океана (СЛО) [1]. Повышение температуры в ветви АВ, поступающей в СЛО через пролив Фрама, наблюдается с начала 1990-х годов [2]. Первый значительный импульс с пиком температуры около  $1^{\circ}\text{C}$  выше климатической нормы 1950-1990 годов был задокументирован в середине 1990-х годов [3]. После кратковременного охлаждения в начале 2000-х годов был зафиксирован следующий, более сильный импульс (до  $1,75^{\circ}\text{C}$  выше климатической нормы) [4]. С этого времени температура АВ постоянно сохраняется в пределах от  $0,5$  до  $1,5^{\circ}\text{C}$  выше климатической нормы [5]. Переход к повышенному тепловому состоянию АВ нарушил устойчивый баланс на нижней поверхности льда вследствие возрастания теплового потока снизу [6]. Согласно оценкам [7], увеличение среднего теплового потока от АВ с 2-х [8] до  $4\text{ Вт/м}^2$  было бы достаточно для обеспечения наблюдавшегося в конце 1990-х годов сокращения арктического морского льда. Однако необходимо подчеркнуть, что более высокая температура слоя АВ еще не гарантирует повышенного теплового воздействия на морской лед, так как

почти везде в СЛО слой АВ изолирован от поверхности океана и морского льда высокоградиентными переходными структурными зонами. Как показывают данные контактных наблюдений с судов и автономных буйковых станций в 2010-е годы, такая вертикальная структура начала меняться. В первую очередь изменения охватили приатлантическую Арктику (западная часть бассейна Нансена и Баренцево море) – переходную зону, где АВ достигают поверхности океана и постепенно теряют тепло и соль в своей верхней части, вследствие взаимодействия с атмосферой и морским льдом, трансформируясь в арктическую промежуточную водную массу [9]. Пан-арктическое сокращение морского льда в 1990-2010-е годы замедлило трансформацию АВ в переходных зонах из-за уменьшения количества льда, доступного для таяния вдоль пути распространения АВ. Возросшее поглощение тепла и усиленное вертикальное перемешивание в течение продолжительных периодов открытой воды летом дополнительно замедлили охлаждение и распределение АВ, тем самым предопределив более дальнейшее распространение относительно теплой и соленой воды вблизи поверхности океана, что способствовало продвижению так называемой «атлантификации» СЛО далее на восток [10].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Тимофеев В. Т.** Водные массы Арктического бассейна. Л.: Гидрометеиздат, 1960. 190 с.
2. **Quadfasel D.** Warming in the Arctic // *Science*. 1991. V. 350. P. 385.
3. **Алексеев Г.В.,** Булатов Л.В., Захаров В.Ф., Иванов В.В. Поступление необычно теплых атлантических вод в Арктический бассейн // Доклады Академии Наук. 1997. Т. 356. № 3. С. 401-403.
4. **Polyakov I.,** Beszczynska A., Carmack E.C., Dmitrenko I.A., Fahrbach E., Frolov I.E., Gerdes R., Hansen E., Holfort J., Ivanov V.V., Johnson M.A., Karcher M., Kauker F., Morison J., Orvik K.A., Schauer U., Simmons H.L., Skagseth Ø., Sokolov V.T., Steele M., Timokhov L.A., Walsh D., Walsh J.E. One more step towards a warmer Arctic // *Geophys. Res. Lett.* 2005. V. 32. L17605. P. 1-4. doi: 10.1029/2005GL023740.
5. **Polyakov I.V.,** Alexeev V.A., Ashik I.M., Bacon S., Beszczynska-Möller A., Carmack E.C., Dmitrenko I.A., Fortier L., Gascard J.-C., Hansen E., Hölemann J., Ivanov V.V., Kikuchi T., Kirillov S., Lenn Y.-D., McLaughlin F., Piechura J., Repina I., Timokhov L.A., Walczowski W., Woodgate R. NOWCAST: Fate of early-2000's Arctic warm water pulse // *Bulletin of the American Meteorological society*. 2011. V. 925. P. 561-565. doi:10.1175/2010BAMS2921.I.

6. **Sando A.-B.**, Y. Gao, and H. R. Langehaug (2014) Poleward ocean heat transports, sea ice processes and Arctic sea ice variability in NorESM1-M simulations. *Journ. Geophys. Res. Oceans*, 119, 3, 2095–2108, DOI: 10.1002/2013JC009435.

7. **Rothrock D.A.**, Yu Y., Maykut G.A. Thinning of the Arctic sea ice cover // *GRL*. 1999. V.26, P. 3469–3472.

8. **Untersteiner N.** On the mass and heat balance of Arctic sea ice // *Arch. Met. Geophys. Biokl.* 1961. V.12. P. 151-182.

9. **Ivanov V.**, V. Alexeev, N.V. Koldunov, I.A. Repina, A.B. Sandoe, L.H. Smedsrud and A. Smirnov, 2016, Arctic Ocean Heat Impact on Regional Ice Decay: A Suggested Positive Feedback, *Journ. Phys. Oceanogr.*, 46, 1437-1456, DOI: 10.1175/JPO-D-15-0144.1.

10. **Polyakov I.V.**, A. V. Pnyushkov, M. B. Alkire, I. M. Ashik, T. M. Baumann, E. C. Carmack, I. Goszczko, J. Guthrie, V. V. Ivanov, T. Kanzow, R. Krishfield, R. Kwok, A. Sundfjord, J. Morison, R. Rember, A. Yulin, Greater role for Atlantic inflows on sea-ice loss in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean, *Science* 356, 285–291, 2017; <http://science.sciencemag.org/>.

УДК 634.67

## **АВТОНОМНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ОСНОВЕ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ**

**Серебряный А.Н.<sup>1,2</sup>, Денисов Д.М.<sup>2</sup> Химченко Е.Е.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва,  
8(499)124-59-96, serebryany@hotmail.com*

<sup>2</sup> *АО «Акустический институт имени акад. Н.Н. Андреева»,  
ул. Шверника, 4, 117036, г. Москва*

В докладе описывается новое устройство для измерений внутренних волн, выполненное на основе распределенного датчика температуры. Устройство работает в автономном режиме с возможностью накопления информации в несколько сотен часов. Приводятся результаты сравнительных измерений устройства с гирляндой точечных датчиков температуры, проведенных на Черном море.

The report describes a new device for measuring internal waves, made on the basis of a line temperature sensor. The device

works offline with the possibility of accumulating information in several tens of hours. The results of comparative measurements of the device with a chain of point temperature sensors conducted on the Black Sea are presented.

Измерение внутренних волн в океанах и морях всегда было непростым делом вследствие сложности этого явления и труднодоступности его наблюдений в водной толще. Для измерений внутренних волн в океанах и морях применяются как контактные, так и неконтактные (дистанционные) методы. Наиболее распространены контактные методы измерений на основе регистрации изменений температуры водного столба вертикальными гирляндами точечных датчиков температуры. Альтернативой гирляндам температурных датчиков для измерений внутренних волн служит распределенный датчик температуры (РДТ), предложенный в [1]. РДТ измеряет среднюю температуру, охватываемого им слоя, адекватно отслеживая, вызванные внутренними волнами, колебания температуры. Его главное преимущество перед точечным датчиком в том, что его запись лишена искажений, которую привносит тонкоструктурная изрезанность вертикального профиля температуры, обычно присутствующая в реальных океанских или морских условиях. РДТ хорошо зарекомендовали себя при измерениях на шельфах со стационарных платформ [2] и при измерениях в глубоком океане с дрейфующих или буксируемых судов [3]. Недостатком предыдущих измерений на основе РДТ, которые помещались в водную среду, была необходимость связывать их соединительными проводами с регистраторами, находящимися на удалении. Предложенный измеритель внутренних волн лишен этого недостатка поскольку РДТ непосредственно соединен с записывающей аппаратурой (накопителем информации), выполненной в компактном корпусе, который вместе с датчиком опускается в водную среду на необходимое для измерений время.

Автономный измеритель внутренних волн, общий вид которого показан на рис. 1, конструктивно состоит из РДТ длиной 20 м (2) и записывающего устройства (1). РДТ выполнен из сталебронного провода, защищенного от воды изоляционным покрытием. Погонное сопротивление провода 5 Ом/м, температурный коэффициент сопротивления 0.36 Ом/К, постоянная времени 20 с. Записывающее устройство предназначено для периодической записи значений температуры, получаемых от РДТ. Корпус устройства цилиндрический герметичный выполнен из диэлектрического материала (полиацеталь) и может устанавливаться в воде на глубинах до 200 м. РДТ подключен к корпусу через кабельный ввод в нижней крышке. Для включения, настройки прибора и считыва-

ния архива данных температуры используется радиосвязь стандарта NFC (near field communication). Рамочная антенна NFC размещена под верхней крышкой устройства. Чтобы произвести обмен данными необходимо поднести смартфон к верхней крышке устройства. Данные на смартфоне сохраняются в виде текстового файла, который можно легко отправить по почте или скопировать на персональный компьютер. Две батарейки типа ААА обеспечивают непрерывную работу прибора в течение нескольких месяцев.

Записывающее устройство состоит из микроконтроллера MCU с ферроэлектрической памятью FRAM и часами реального времени RTC, 24 разрядного АЦП, коммуникационного транспондера с антенной E и батареи ВТ (рис. 2). АЦП и транспондер соединены с микроконтроллером шиной I2C. Электронная схема преобразует сопротивление датчика в напряжение, которое преобразуется в код АЦП, сохраняемый в памяти микроконтроллера.

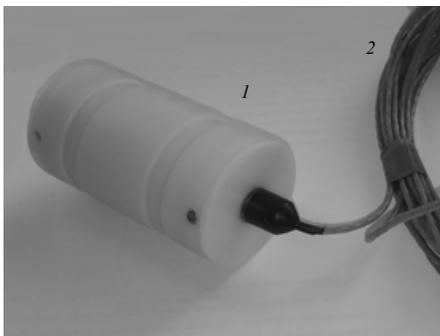


Рис. 1. Автономный измеритель внутренних волн (записывающее устройство – 1, распределенный датчик температуры РДТ 20 м -2)

В июне 2018 г на Черном море нами были проведены сравнительные измерения автономным датчиком внутренних волн (РДТ) и гирляндой из девяти точечных датчиков температуры. Оба измерителя опускались со стационарной платформы, где глубина моря около 12 м. Расстояние между измерителями составляло несколько метров и они находились в одинаковых условиях охватывая 10-метровую толщу воды. На рис. 3 показаны реализации длиной 45 ч, записанные обоими измерителями. Причем в качестве сравнительной реализации гирлянды построен ряд на основе осреднения записей всех девяти точечных датчиков. Этот осредненный ряд затем нормировался на зарегистрированный вертикальный

температурный градиент в пределах длины гирлянды. В результате полученный ряд представлял собой искусственно смоделированный распределенный датчик температуры на основе гирлянды точечных температурных датчиков.

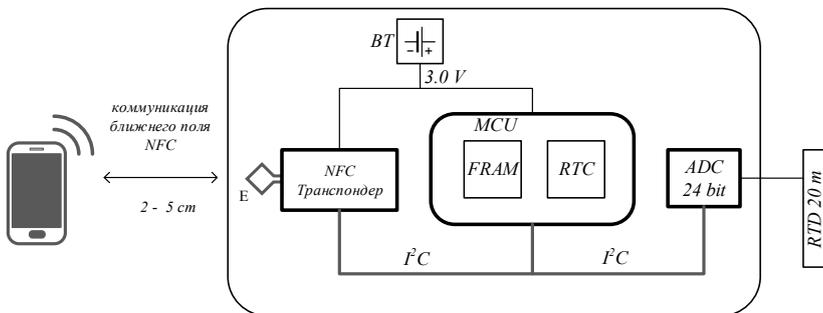


Рис. 2. Структурная схема измерителя внутренних волн

Простое визуальное сопоставление двух полученных рядов показывает хороший результат. Оба ряда демонстрируют синхронные колебания термоклина с вертикальным размахом до 2-3 м, выделяются периоды колебаний 30-40 мин, 17 мин и 4 мин. Колебания термоклина с такими параметрами характерны для черноморских короткопериодных внутренних волн.

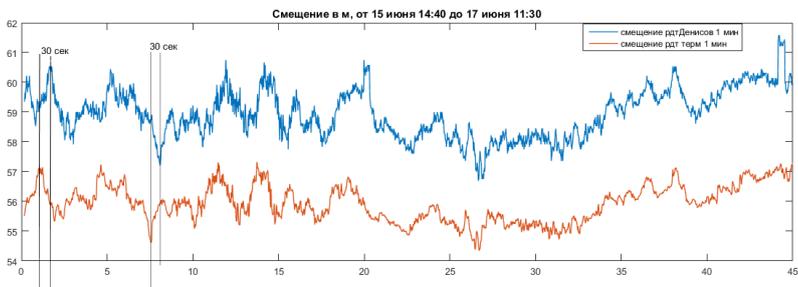


Рис. 3. Сравнительная запись РДТ (вверху) и гирлянды из девяти точечных датчиков температуры (внизу)

Таким образом проведенные испытания автономного измерителя внутренних волн на основе РДТ продемонстрировали его применимость

для морских экспериментов по исследованию внутренних волн. Использование нескольких подобных измерителей позволит конструировать пространственные антенны внутренних волн.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2019-0011) и при частичной поддержке РФФИ (грант № 17-05-40016).

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Коняев К.В.** Новые данные о внутренних волнах в море, полученные с помощью распределенных датчиков температуры/ К. В. Коняев, К.Д. Сабинин // Докл. АН СССР. 1973. Т.209. № 1. С. 86–89.

2. **Иванов, В.А.** Группы интенсивных внутренних волн в шельфовой зоне моря/ В.А. Иванов, К.В. Коняев, А.Н. Серебряный // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1981. Т. 17. № 12. С. 1302–1309.

3. **Сабинин, К.Д.** Короткопериодные внутренние волны и течения в океане / К.Д. Сабинин, А.А. Назаров, А.Н. Серебряный // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1990. Т. 26. № 8. С. 847–853.

УДК 551.466

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ПРИЛИВНОГО МОРЯ

**Новотрясов В.В., Пермяков М.С., Ярошук И.О.**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Балтийская 43, 690041, г. Владивосток, 8(423)231-28-60, vadimnov@poi.dvo.ru*

Представлена методика определения дисперсии и квадратичной нелинейности внутренних волн. Используя теорию волновых боров, получены соотношения между указанными параметрами волн и параметрами солитонов бора. Выполнено тестирование методики.

The study presents a methodology of assess of the dispersion and quadratic nonlinearity coefficients of the KdV equation on the shelves of tidal seas. Using the undular bore theory, it was found relationships between the coefficients and linear wave parameters in the relaxation zone and on the leading edge of the bore.

Активное изучение динамики внутренних гравитационных волн (ВГВ) над континентальным шельфом дальневосточных морей стимулируется необходимостью решения различных геофизических задач: перестройкой донного рельефа, расчётом динамики загрязняющих веществ, подводной навигацией и т.д.

Исследование этого процесса в натуральных условиях показали, что в шельфовой зоне ВГВ проявляют нелинейные свойства, распространяются в виде нестационарных пакетов высокочастотных, интенсивных ВГВ со значительной крутизной переднего фронта, т.е. представляют слабо дисперсионную ударную волну, или внутренний волновой бор. Основная сложность, с которой сталкиваются исследователи этого процесса в натуральных исследованиях, связана с определением кинематических параметров фонового состояния шельфовых вод: скорости распространения длинных ВГВ, параметров дисперсии и квадратичной нелинейности.

В работе излагается новый подход для определения фазовой скорости, коэффициентов дисперсии  $\beta$  и квадратичной нелинейности  $\alpha$  при полигонных исследованиях ВГВ в шельфовых водах окраинных морей. С использованием теории волновых боров на пикноклине получены соотношения, связывающие коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  с параметрами линейных волн (волновое число) в зоне релаксации бора и его переднего фронта (его амплитудой и длительностью). На данных натурального эксперимента, поставленного на гидрофизическом полигоне ТОИ ДВО РАН осенью 2012 года [1, 2, 3], выполнено сопоставление коэффициентов квадратичной нелинейности и дисперсии, полученных по традиционной и предлагаемой методике. Её теоретическую основу представляет уравнение Кортевега-де Вриза:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + c_0 \frac{\partial \eta}{\partial x} + \alpha \eta \frac{\partial \eta}{\partial x} + \beta \frac{\partial^3 \eta}{\partial x^3} = 0,$$

где  $\eta(x, t)$  – вертикальные смещения термоклина,  $x$  – горизонтальная координата,  $t$  – время,  $c_0$  – скорость длинной линейной внутренней волны,  $\alpha$  и  $\beta$  – коэффициенты нелинейности и дисперсии, которые определяются через квадратуры вида

$$\alpha = (3/2)c_0^3 Nr^{-1} \int_{-H}^0 (dW/dz)^3 dz, \quad \beta = (3/2)c_0^3 Nr^{-1} \int_{-H}^0 W^2 dz, \quad (1a)$$

$$c_0^2 = Nr^{-1} \int_{-H}^0 (dW/dz)^2 dz, \quad Nr = \int_{-H}^0 W^2 N_0^2 dz \quad (16)$$

В формулах (1а, б)  $W(z)$  – амплитудная функция вертикальных смещений первой моды ВГВ, которая представляет решение краевой задачи:

$$d^2 W/dz^2 + N^2(z)W/c^2 = 0, \quad W(0) = W(-H) = 0, \quad W(z)_{\max} = 1.$$

Оценка параметров по формулам (1а,б) по данным натурных измерений фонового поля частоты плавучести методически достаточно сложная и трудно реализуемая, техническая задача. В работе предлагается альтернативный, экспресс метод определения параметров квадратичной нелинейности и дисперсии, основанный на данных наблюдений за полем внутренних волн в шельфовых водах. Краткое содержание этого метода состоит в следующем.

Учитывая, что интенсивные высокочастотные ВГВ в прибрежной зоне наблюдаются, как правило, в виде волновых пакетов или волновых боров, предлагается использовать эти особенности ВГВ для определения коэффициентов уравнения КдВ, воспользовавшись гидродинамической моделью волновых боров, основанной на этом уравнении. В соответствии с моделью волновой бор представляет слабо дисперсную ударную внутреннюю волну, на переднем фронте которой располагается солитон КдВ, который движется со скоростью  $V_s$ , имеет амплитуду  $\eta_0$  и полуширину  $\Delta_s$ . Его тыловая зона или зона релаксации представляет линейную волну с волновым числом  $k_0$ . Причём два последних пространственных масштаба связаны простым соотношением  $k_0/2 = 1/\Delta_s$ , которое является базовым в предлагаемой методике. Учитывая, что солитон движется со скоростью  $V_s$ , его длительность  $T_s$  по уровню 0,43 составит  $T_s = 2 \Delta_s V_s^{-1}$ , а период осцилляций в тыловой зоне будет равен  $T_w = 2\pi(c_0 k_0)^{-1}$ . Учитывая соотношение  $k_0/2 = 1/\Delta_s$ , получим для скорости солитона  $V_s = c_0(2T_w)(\pi T_s)^{-1}$ . Как известно скорость солитона  $V_s$  превышает скорость линейной волна  $c_0$  на одну треть величины  $\alpha\eta_0$ . Отсюда для параметра параметр квадратичной нелинейности по известной амплитуде солитона, его длительности и периоду осцилляций в зоне релаксации получим

$$\alpha = \frac{3}{\eta_0} c_0 \left( \frac{2 T_w}{\pi T_s} - 1 \right) \quad (2a)$$

Аналогично, учитывая зависимость между амплитудой солитона и его пространственным масштабом, для параметра дисперсии получим

$$\beta = 4\eta_0^2 (2T_w - T_s) c_0 \frac{T_w}{T_s}. \quad (2б)$$

Соотношения (2а, б) решают поставленную задачу. Проведя измерения параметров волнового пакета: амплитуду лидирующего фронта и его длительность, а также период осцилляций в тыловой зоне, воспользовавшись соотношением (2а,б), можно получить оценку коэффициента квадратичной нелинейности  $\alpha$  и дисперсии  $\beta$  уравнения КдВ.

На протяжении ряда лет на гидрофизическом полигоне ТОИ ДВО РАН проводятся экспериментальные исследования внутренних волн. На рис.1 представлена схема гидрофизического полигона с расположенными на нём автономными буйковыми станциями (АБС).

Полигон состоит из 7-и притопленных автономных буйковых станций (АБС), 2-е из которых были оснащены измерителями температуры «Onset» (АБС<sub>6</sub> и АБС<sub>7</sub>), а остальные пять датчиками температуры DS18B20. Для каждой из пяти станций датчики температуры размещались на расстоянии 3 метра друг от друга. Исключение составлял первый датчик, который для АБС<sub>1</sub> АБС<sub>2</sub> АБС<sub>4</sub> АБС<sub>5</sub> размещался на горизонтах 4, 5 7 и 6 метров, соответственно. Последний датчик для каждой из пяти АБС, размещался на расстоянии 1 метра от дна. Продолжительность измерений составила чуть более 6-и суток.

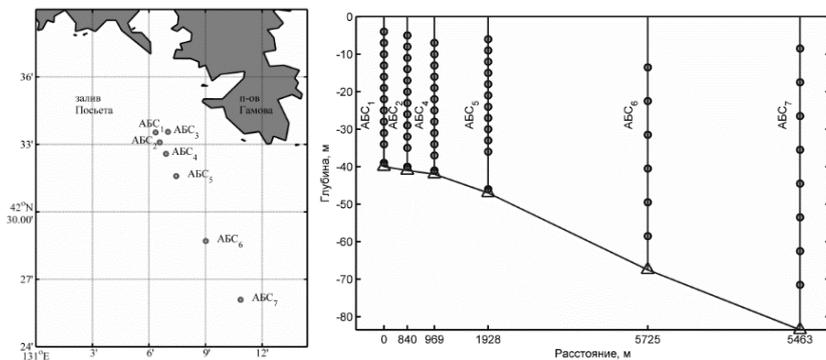


Рис.1. Схемы расположения АБС (слева) на полигоне в заливе Посыета и схема размещения измерителей температуры на АБС (справа) по волновой трассе на полигоне. По оси абсцисс отложено расстояние между двумя соседними АБС. Сплошной черной линией показан рельеф дна

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Novotryasov, V.V., Stepanov D.V., Yaroshchuk I.O.** Observations of internal undular bores on the Japan/East Sea shelf-coastal region // *Ocean Dynamics*. – 2016. – Vol. 66. – P. 19–25.

2. **Ярощук, И.О., Леонтьев, А.П., Кошелева, А.В., Пивоваров, А.А., Самченко, А.Н. Степанов, Д.В., Швырев, А.Н.** Об интенсивных внутренних волнах в прибрежной зоне залива Петра Великого (Японское море) // *Метеорология и гидрология*. – 2016. – № 9. – С. 55–62.

3. **Долгих Г.И., Новотрясов В.В., Ярощук И.О., Пермяков М. С.** Интенсивные волновые боры на осеннем пикноклине шельфовых вод залива Петра Великого Японского моря // *Доклады Академии наук* – 2018 – Т. 479 – № 2 – С. 200–205.

УДК 551.46(262.81)

## ОКЕАНИЧЕСКОЕ ЯВЛЕНИЕ ЭЛЬ-НИНЬО – ЛА-НИНЬЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕССЫ В АТМОСФЕРЕ

**Бондаренко А.Л.**

*Институт водных проблем РАН*

*119333, Москва, ул.Губкина, д. 3, 8(495) 938-03-19, albert-bond@mail.ru*

Путём анализа натуральных наблюдений течений и температуры поверхности экваториальной области Тихого океана показано, каким образом океанические долгопериодные волны создают явление Эль-Ниньо – Ла-Нинья. Эти долгопериодные волны автор относит к океаническим волнам солитонам [1, 2].

By analyzing the field observations of the currents and the temperature of the surface of the equatorial region of the Pacific Ocean, it is shown how oceanic long-period waves create the El Niño-La Niña phenomenon. The author relates these long-period waves to oceanic waves to solitons [1, 2].

Состояние природы, когда вода, обычно холодная в прибрежной и восточной части экваториальной зоны Тихого океана, начинает нагреваться, гибнут рыбы, птицы и другие морские обитатели, начинаются обильные ливни, наводнения, штормы на море, жители Южной Америки называют Эль-Ниньо (Э-Н). Это явление может продолжаться более

года. Когда же температура морской воды падает, погода и экологические условия вновь становятся благоприятными, а продуктивность океана и суши, пострадавших от Э-Н, восстанавливается, наступает явление, получившее название Ла-Нинья (Л-Н). При Э-Н температура поверхностного слоя воды восточной половины экваториального Тихого океана и вод, прилегающих к Южной Америке в районе Эквадора, Перу и частично Чили, повышается на 4–5 °С относительно среднего значения, ~ 25°С. При Л-Н в этом слое температура приблизительно на такую же величину падает (рис. 1а, б, в, г). Выяснилось также, что оба явления — единое явление, названное автором: Эль-Ниньо – Ла-Нинья (Э-Н – Л-Н).

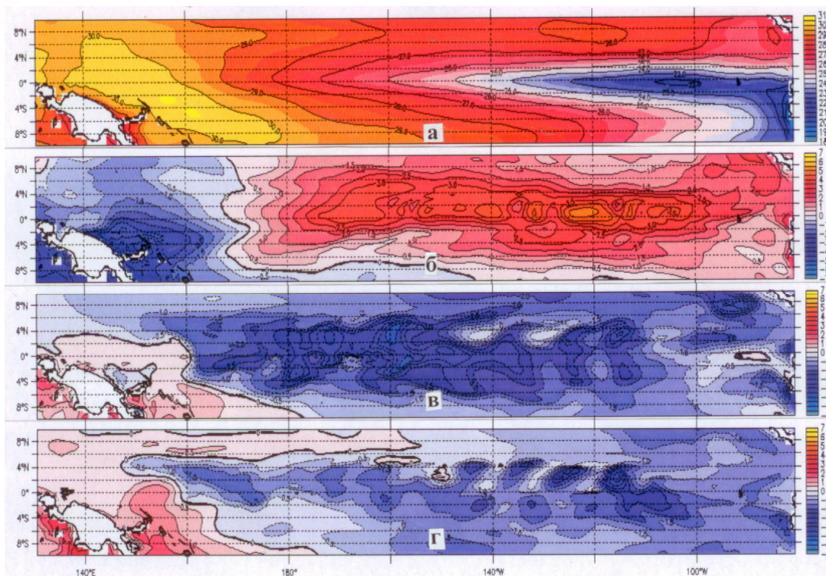


Рис. 1а, б, в, г. Температура (°С) воды экваториальной области Тихого океана от берегов Южной Америки до о. Новая Гвинея на глубине 15 м: а) среднее значение температуры воды за период 1993 – 2009 гг., б) аномалии температуры воды на 1997г – 09 – 20 во время сильного Эль – Ниньо, в) аномалии температуры воды на 2008г – 02 – 10 во время сильного Ла-Нинья, г) аномалии температуры воды на 2000г – 12 – 10 во время Ла-Нинья.  
<http://www.avisooceanobs.com>

Есть несколько, в том числе и принципиально разных, объяснений формирования явления Э-Н – Л-Н. Путём анализа натуральных наблюдений

ний была доказана несостоятельность гипотез [1]. Ранее автором рассматривалась гипотеза формирования Э-Н – Л-Н долгопериодными волнами, получившими название Экваториальных волн Россби [1]. Была установлена хорошая связь температуры поверхности океана – показателя развития Э-Н – Л-Н, с параметрами долгопериодных волн. Эта связь доказывала, что формируют Э-Н – Л-Н, волны. Механизм формирования объяснить тогда не удалось. Но было ясно, что развитие явления Э-Н – Л-Н тесно связано с подъёмом холодных вод с глубины океана к его поверхности.

Впоследствии механизм был установлен. Но прежде было установлено, что долгопериодные волны могут быть описаны моделью океанических волн солитонов, но не экваториальных волн Россби. С позиции волн солитонов стало возможным объяснение механизма формирования явления Э-Н – Л-Н.

Волны солитоны – некие устойчивые, энергетически неизменные во времени образования. Их впервые обнаружил английский инженер-кораблестроитель и учёный Джон Скот Рассел в 1834 г. на поверхности воды одного из каналов близ Эдинбурга. В настоящее время интерес науки к волнам солитонам большой, их обнаруживают во многих средах, мы обнаружили их в океанах и называли: «океанические волны солитоны» [1, 2].

Процессы на рис. 2 хорошо “просматриваются” в реальных течениях океана и температуре его поверхностных вод (рис. 1а, б, в, г).

Теперь попытаемся объяснить характер развития явления Э-Н – Л-Н по измерениям в эксперименте TOGA, течений и температуры воды в пункте на Экваторе (140<sup>0</sup> з. д.) на горизонте 10 м за период с 1983 г по настоящее время. Образец измерений за 1995-1998 гг., представлен на рис. 3а, б. За время эксперимента TOGA зафиксировано лишь одно Эль-Ниньо полностью, это происходило в 1997-98 гг. и одно частично в начале 1983г. Практически всё остальное время наблюдалось явление, которое можно отнести к Л-Н. Развитие гидрологических событий за рассматриваемый период времени легко объяснимо с позиции волн солитонов как наложение в районе Экватора в режиме суперпозиции волн солитонов Северного и Южного полушарий. Результатом такого наложения являются модуляционные волновые движения воды с периодом один год и постоянной фазой. На рис. 3а за период с марта 1995г по март 1997г. волны две такие чёткие модуляции. Фактически это и есть состояние Л-Н. Везде прослеживается связь величины волновых движений воды с её температурой: с увеличением волновых движений температура воды уменьшается и, наоборот, с их уменьшением она увеличивается.

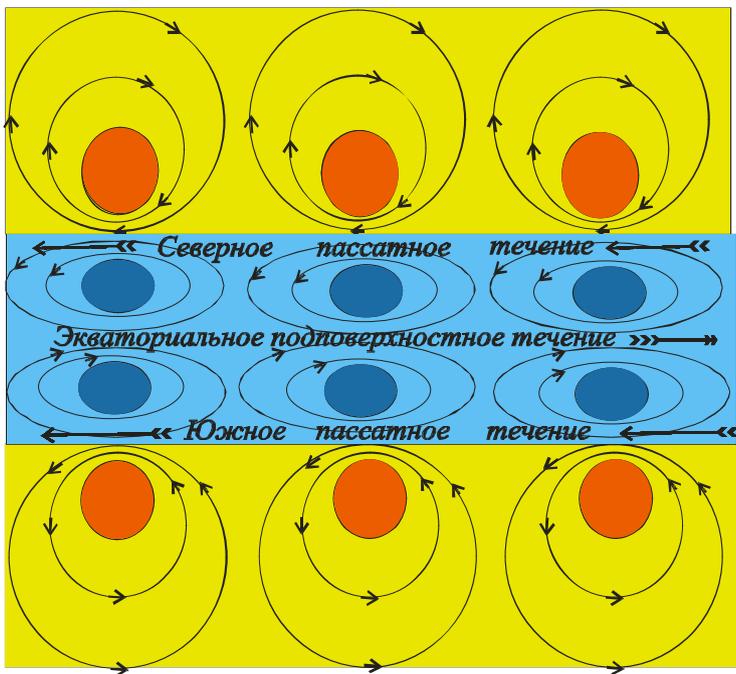


Рис. 2. Эллипсы со стрелками – линии токов океанических волн солитонов. Стрелки – направление силы, создающей движения частиц воды, течения. Голубым цветом выделена область циклонических движений воды волн, дивергенции и подъёма на поверхность океана холодных глубинных вод (между  $\sim 8^{\circ}$  с. ш. и  $\sim 8^{\circ}$  ю. ш.), желтым – антициклонических движений воды, конвергенции и опускания на глубину теплых поверхностных жёвод (между  $\sim 35^{\circ}$  с. ш. и  $\sim 8^{\circ}$  с. ш., а также между  $\sim 35^{\circ}$  ю. ш. и  $\sim 8^{\circ}$  ю. ш.). Синим цветом выделены области интенсивного подъёма воды в волнах, а оранжевым – опускания.

Направление распространения волн – западное

На рис. 2а, б зафиксированы движения воды и её температура во время развития сильного Э-Н с марта 1997 г. по май 1998 г. Мы видим, что структура волновых движений отлична обычной. Если обычно вслед за малыми волновыми движениями воды, происходящими с января по май, возникали большие волновые движения с июня по январь следующего года, то здесь в течение всего года, с марта 1997 г. по май



УДК 551.46(262.81)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГОЛЬФСТРИМА ПО ИНФОРМАЦИИ ОБ ОКЕАНЕ, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ КОСМОСА

**Бондаренко А.Л.**

*Институт водных проблем РАН,*

*ул. Губкина, д. 3, 119333, г. Москва, 8(499)135-54-56, albert-bond@mail.ru*

В результате анализа долгопериодных волн, их проявлений в океанической среде установлено, что они описываются кинематикой океанических волн солитонов, но не волн Россби [1]. Далее будет показано формирование волнами солитонами океанических течений, в частности Гольфстрима, и температуры поверхностных вод океана.

As a result of the analysis of long-period waves, their manifestations in the ocean environment, it was found that they are described by the kinematics of ocean waves of solitons [1]. Shows the formation of waves by solitons oceanic currents, particularly the Gulf stream, the temperature of the surface water of the ocean.

По исследованиям автора, океанические долгопериодные волны, называемые волнами Россби, на самом деле таковыми не являются, это – волны солитоны. Согласно исследованиям автора эти волны формируют океанические течения и противотечения, вертикальные движения воды, определяющие температуры водных масс и поверхности океана [1, 2]. Океанические течения есть не что иное, как орбитальные движения частиц воды волн солитонов. В настоящее время установлено присутствие этих волн во многих средах, теперь же автор показывает, что они существуют в океанах.

Океанические волны солитоны в открытом океане распространяются в западном направлении. Достигая берега, они распространяются вдоль него в южном направлении. Параметры волн такие: их длина волн в открытом океане соизмерима с тысячью км, период порядка месяца. Но у берега их параметры существенно меньше. В Гольфстриме период ~10 суток, длина ~ 300 км.

Чтобы понять функции волн, обратимся к рис. 1а, б, в. Изображены силовые линии волн солитонов, в частности, в Гольфстриме и его окружении. Волны движутся в противоположную от него сторону. Величина

силы, действующей на частицы воды, а из-за этого и скорость их движения, скорость течений пропорциональна плотности силовых линий. В Гольфстриме плотность линий тока, а отсюда и скорости течений, наибольшие у поверхности океана, 3–4 м/с, за пределами Гольфстрима ~ 10 см/с. Орбитальные движения частиц воды волн также формируют противотечения: поверхностные с боков Гольфстрима и глубинные, под ним. Скорости их достигают 70 см/с. Наука до сих пор не объясняла закономерностей формирования противотечений, теперь оно дано.

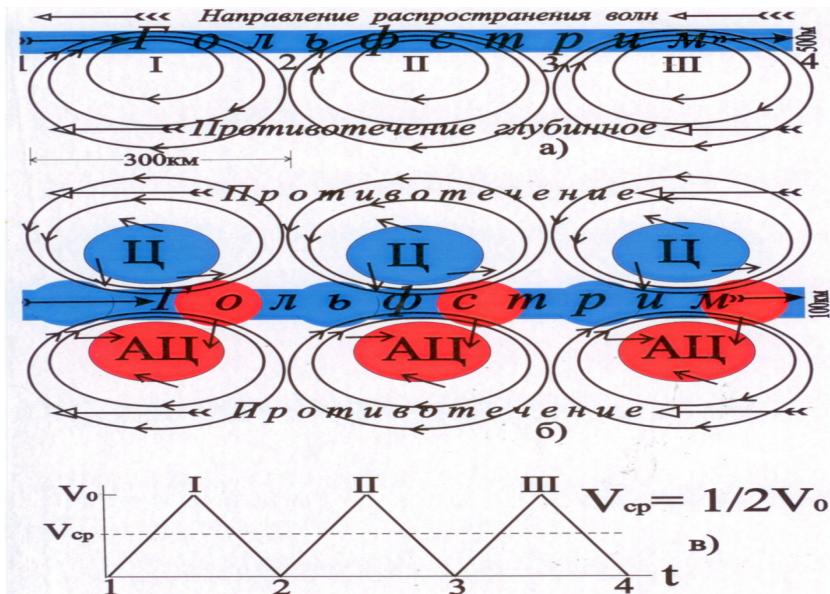


Рис. 1а, б, в. Линии тока в виде эллипсов долгопериодных волн, солитонов в вертикальной плоскости, проходящей через Гольфстрим, что одно и то же, через центр волн (а) и в горизонтальной плоскости у поверхности воды (б)

Стрелки на линиях тока – направление силы, воздействующей на частицы воды, то же – направление течений. АЦ – антициклон, антициклональное движение воды, область конвергенции и опускания на глубину тёплой воды. Ц – циклон, циклональное движение воды, область дивергенции и подъёма холодной воды с глубины океана на его поверхность. Красными и синими кружками выделены области опускания тёплой воды с поверхности океана на глубину и подъёма холодной воды с глубины на его поверхность, создаваемые вертикальными движениями частиц воды волн

Считается, что Гольфстрим переносит теплые воды Атлантического океана, Мексиканского залива и Карибского моря к берегам Европы и в Северный Ледовитый океан. Покажем, что это не так, Гольфстрим не переносит воды поступательно, а поэтому, он не обогревает Европу и Северный Ледовитый океан.

Рассмотрим эту проблему. Рассмотрим процесс измерения течений в волне во времени и пространстве. В фиксированный момент времени в точках 1, 2, 3, 4, расположенных между волнами, скорости течений равны нулю, а в точках I, II, III – максимальны (рис. 1а, б, в). При фильтрации пульсирующих течений путём осреднения измерений по времени выделяется высокочастотная и низкочастотная, квазипостоянная часть течений. Эта низкочастотная часть есть средняя величина волнового течения, но её исследователи ошибочно принимают за крупномасштабные течения.

Рассмотрим закономерности формирования волнами солитонами температуры поверхностных вод в районе Гольфстрима. В настоящее время общепринята гипотеза его образования в основном тёплыми водами водами Антильского течения и лишь частично тёплыми водами, поступающими из Мексиканского залива. Напомним, что ранее была популярна гипотеза о том, что Гольфстрим полностью выходит из Мексиканского залива. Эта гипотеза возникла, когда выяснилось, что воды Гольфстрима состоят из склоновых вод, поступающих со стороны материка, и вод Саргассова моря, а вод Мексиканского залива в Гольфстриме не оказалось. Такое распределение температуры поверхностных вод около Гольфстрима (рис. 2а), вроде бы, согласуется с последней гипотезой его формирования. Но в последнее время выяснилось, что Гольфстрим выходит только из Мексиканского залива. С позиции принятой концепции течений такое не объяснишь. Объяснение дано нами раньше: масса воды волнами не переносится, а следовательно, и волновым течением, тёплая вода образуется справа от Гольфстрима и холодная – слева от него.

Если придерживаться принятой гипотезы формирования Гольфстрима, то ошибка в определении его положения будет  $\sim 300$  км. Однако существуют и другие представления о динамике Гольфстрима, согласно которым тёплые вихри должны находиться слева от него [3]. Тогда Гольфстрим должен быть расположен на расстоянии приблизительно 200 км восточнее аномалии тёплой воды, принимаемой за область Гольфстрима. В этом случае, ошибка в определении положения Гольфстрима будет составлять приблизительно 500 км.

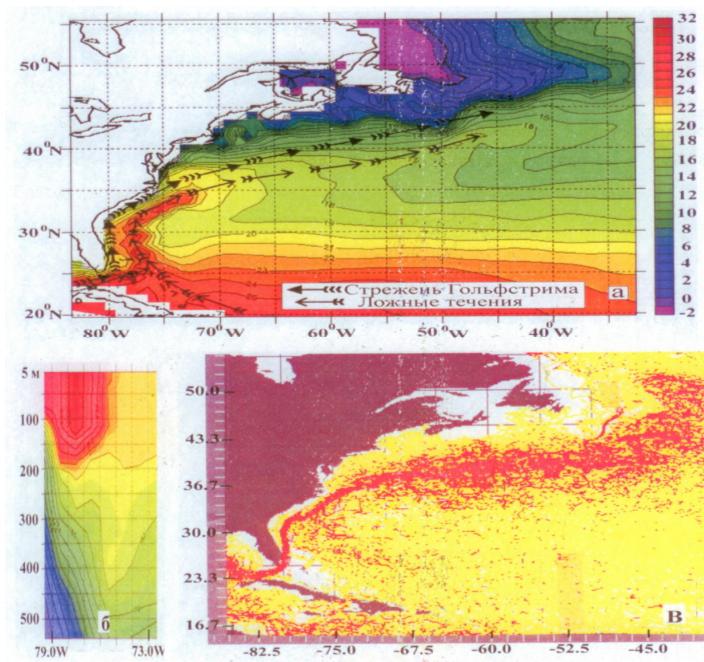


Рис. 2. а) Температурное поле воды в изотермах северо-западной части Атлантического океана на глубине 5 м 5 февраля 1997 г. Числа при изотермах – температура воды в градусах Цельсия. б) Температура воды по вертикальному сечению, проходящему по 29°N между пунктами 80°W и 72,5°W [ecco.jpl.nasa.gov/external/index.php]. в) Красным цветом выделена область Гольфстрима со скоростями превышающими 50см/с. Скорости и местоположение течений получены по данным дрейферных измерений

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Бондаренко А.Л.** Лето2010 года: жара в России и наводнения в Пакистане// Наука в России. Март – апрель. 2013. С.28-31.  
[http://meteoweb.ru/articles/bondarenko\\_05\\_2013.pdf](http://meteoweb.ru/articles/bondarenko_05_2013.pdf)
2. **Бондаренко А.Л.** Крупномасштабная динамика и долгопериодные волны Мирового океана и атмосферы. Москва, 2017 г. цз  
<http://meteoweb.ru/aa0.php>.
3. **Каменкович В.М., Кошляков М.М., Монин А.С.** Синоптические вихри в океане. Л.: Гидрометеиздат. 1982. 264с.

## **РАЗНОСТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ СОЛЕННОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ SVP И STD ЗОНДАМИ**

**Греков А.Н., Греков Н.А., Сычев Е.Н.**

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение “Институт природно-технических систем”, ул. Ленина 28, 299011, г. Севастополь, grekov@protonmail.com*

Обоснованы новые подходы, заключающиеся в использовании измерений скорости звука для определения солёности морских вод. Определены требования по точности к измерительным каналам. Предложено использование измерений скорости звука и электропроводности для определения аномалии солёности морской воды.

New approaches have been substantiated, consisting in the use of sound velocity measurements for determining the salinity of sea waters. Determined accuracy requirements for measuring channels. The use of measurements of sound velocity and electrical conductivity to determine the salinity anomaly of sea water has been proposed.

Повышение точности и автоматизация измерений солёности морской воды имеют большое значение для различных задач океанографии. Следует отметить, что солёность является одним из параметров морской воды, которые прямо измерить *in situ* пока невозможно. В течение последних десятилетий для косвенного определения солёности морской воды широко применяется удобный для автоматизации и, обладающий высокой чувствительностью, метод основанный на измерении относительной электропроводности, температуры и давления. Однако этот метод имеет существенные и, строго говоря, неустранимые недостатки, т.к. основывается, во-первых, на достаточно условном принципе постоянства солевого состава морской воды, который нарушается в крайних морях, аномальных зонах океанов и др. Во-вторых, существует серьёзная метрологическая проблема сопоставимости измерений солёности в течение длительного времени, которая заключается в том, что стабильность химического состава стандартной морской воды не может

быть обеспечена, поскольку эта вода имеет естественное происхождение. И, в-третьих, на измеряемую через относительную электропроводность, так называемую «практическую соленость», влияет не вся, а только ионная составляющая действительной солености морской воды (т.е. только растворы электролитов в морской воде), хотя полная, или абсолютная, соленость является общей массовой долей всего растворенного вещества в морской воде. Применение метода измерения практической солености через относительную электропроводность ограничено диапазоном соленостей от 2 до 42 епс (единиц практической солености). В силу указанных причин весьма актуальной является задача по созданию и развитию иных методов прямого или косвенного определения абсолютной, связанной с плотностью, солености морской воды в полном, реальном для окружающей среды, диапазоне температур и соленостей. Такие параметры морской воды, которые связаны с ее средней плотностью существуют, к ним, в частности, относятся сама плотность, скорость звука и показатель преломления. В последнее время, например, наблюдается значительный прогресс в развитии приборов (профилографов) для измерения скорости звука, что актуализирует проблему и создает предпосылки для ее успешного решения [1]. С этой целью для определения (измерения) солености может быть использовано соответствующее уравнение состояния морской воды, связывающее между собой скорость звука ( $c$ ), абсолютную соленость ( $S_A$ ), температуру ( $T$ ) и гидростатическое давление ( $P$ ):

$$F(c, S_A, T, P) = 0. \quad (1)$$

Уравнение вида (1) может быть использовано в качестве методики косвенных измерений любого из четырех названных параметров по данным измерений трех других входящих в уравнение параметров. Например, по уравнению (1), используя результаты синхронных измерений скорости звука, температуры и давления, можно с помощью известных математических методов определить (измерить) абсолютную соленость. При этом для определения точности (неопределенности) косвенных измерений абсолютной солености необходимо предварительно задаться точностью (неопределенностью) измерительных каналов трех входных параметров уравнения состояния, т.е.  $c$ ,  $T$  и  $P$ . Расчет составляющих неопределенности абсолютной солености выполнялся по уравнению TEOS-10 [2] согласно методике изложенной в [3,4].

Из результатов расчета следует, что при современных (достигнутых) уровнях неопределенности измерительных каналов  $u(c) = 0,02$  м/с,  $u(T) = 0,001^\circ\text{C}$  и  $u(P) = 0,42$  дбар, точность определения абсолютной солено-

сти составляет около 0,02 г/кг, т.е. примерно на порядок хуже, чем требуется. Для достижения точности определения абсолютной солёности порядка 0,003-0,005 г/кг точность измерительных каналов должна быть повышена до следующих значений:  $u(c) = 0,003$  м/с,  $u(T) = 0,0008$  °С и  $u(P) = 0,10$  дбар. Результаты расчета предельных значений составляющих и суммарной неопределенности абсолютной солёности в широком диапазоне температур и давлений для определения значений неопределенности измерительных каналов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Предельные значения неопределенностей абсолютной солёности для перспективных уровней неопределенности измерительных каналов

Неопределенность, г/кг	$P = 60$ МПа, $T = 0 - 10^{\circ}\text{C}$	$P = 30$ МПа, $T = 0 - 20^{\circ}\text{C}$	$P = 20$ МПа, $T = 0 - 24^{\circ}\text{C}$	$P = 10$ МПа, $T = 0 - 28^{\circ}\text{C}$
$u_c(S_A)$	0.00282	0.00291	0.00295	0.00293
$u_T(S_A)$	0.00310	0.00304	0.00301	0.00300
$u_P(S_A)$	0.00160	0.00161	0.00164	0.00164
$u_{\Sigma}(S_A)$	0.00437	0.00413	0.00403	0.00394

Из табл. 1 следует, что для успешной реализации косвенного метода измерения абсолютной солёности морской воды с использованием измерений скорости звука необходимо повысить точность измерительных каналов скорости звука, температуры и давления до указанных уровней неопределенности.

Другим направлением в использовании измерений скорости звука совместно с электропроводностью является решение задач по оперативному мониторингу отклонений состава морских вод от стандартного. Как известно, широко используемый принцип постоянства солевого состава морской воды является достаточно условным и может нарушаться в результате различных воздействий как природного, так и антропогенного характера особенно в замкнутых и окраинных морях, эстуариях, аномальных зонах океанов и т.п. Для определения отклонений состава морских вод от стандартного предлагается использовать результаты косвенных измерений плотности морской воды по данным независимых измерений скорости звука, с одной стороны, и определения плотности по измерениям электропроводности, с другой стороны. При этом объективным индикатором нарушения постоянства состава морских вод служит аномалия плотности:

$$\Delta\rho_{c-S} = \rho_c - \rho_S, \quad (2)$$

Здесь для косвенного измерения плотности морской воды используются два независимых уравнения для плотности морской воды следующего вида:

$$\rho_c = \rho_c(c, T, P), \quad (3)$$

$$\rho_S = \rho_S(S_A, T, P). \quad (4)$$

В качестве уравнений (3) и (4) могут быть использованы уравнения авторов [5,6] и TEOS-10 [2] соответственно.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Греков А.Н., Греков Н.А., Сычев Е.Н.** Профилографы скорости звука и алгоритм определения плотности воды для океанографического диапазона // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. 2017. Вып. 8 (28). С. 11–15.

2. **IOС, SCOR and IAPSO, 2010:** The international thermodynamic equation of seawater – 2010: Calculation and use of thermodynamic properties. Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals and Guides No. 56, UNESCO (English), 196 pp.: [Электронный ресурс]. URL: [http://www.teos-10.org/pubs/TEOS-10\\_Manual.pdf](http://www.teos-10.org/pubs/TEOS-10_Manual.pdf). (дата обращения: 01.02.2018).

3. **Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM GUM):** JCGM 100-2008 Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement, <http://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>, 2008. P. 134.

4. **Греков А.Н., Греков Н.А., Сычев Е.Н.** Оценка неопределенности измерений практической солености морской воды в океанографических исследованиях // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. 2018. Вып. 11 (31). С. 13–22.

5. **Греков А.Н., Греков Н.А., Сычев Е.Н.** Новое уравнение для расчета плотности морской воды по измерениям скорости звука // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. 2017. – Вып. 7 (27). С. 12–18.

6. **Греков А.Н., Греков Н.А., Сычев Е.Н.** Использование профилографов скорости звука для определения плотности воды // Материалы Первой МНТК по термогидромеханике океана: Современные проблемы термогидромеханики океана «СПТО-2017»: М.: 28-30 ноября 2017 г.: в 1 т.: сб. ст. / Ин-т океанол. им. П.П. Ширшова РАН. М.: ИО РАН, 2017. С. 46-49. DOI: 10.29006/978-5-9901449-3-4-2017-1-46-49.

## РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ ЭХО-СИГНАЛА ДОННОЙ СТАНЦИИ ADCP, УСТАНОВЛЕННОЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ, С ЦЕЛЮ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЫЗЫВАЮЩИХ ЕГО ИЗМЕНЧИВОСТЬ

**Пиотух В.Б.**<sup>1</sup>, Мысленков С. А.<sup>1,2,3</sup>, Зацепин А. Г.<sup>1</sup>,  
Александрова А. Г.<sup>1</sup>, Соловьев Д.М.<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия.*

<sup>2</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия*

<sup>3</sup> *Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия*

<sup>4</sup> *Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия  
e-mail: zatsepin@ocean.ru*

**Ключевые слова:** Черное море, прибрежная зона, донная станция ADCP, обратное акустическое рассеяние, изменчивость, спутниковая информация.

В статье приводится анализ изменчивости интенсивности обратного акустического рассеяния (эхо-сигнала) на донной станции ADCP, установленной в 2011-2012 году на гидрофизическом полигоне ИО РАН. Интенсивность эхо-сигнала во многом определяется присутствием в воде следующих объектов и свойств: планктон, минеральное взвешенное вещество, пузырьки воздуха и неоднородности плотности. Из-за одновременного влияния различных факторов на интенсивность обратного рассеяния часто возникают сложности в интерпретации получаемых результатов. Для анализа концентрации взвеси, хлорофила «а» в приповерхностном слое воды используются также данные спутникового зондирования в оптическом диапазоне. Анализ спутниковых снимков позволяет выделять районы с повышенной концентрацией взвешенного вещества, области интенсивного цветения фитопланктона, а также определенные структуры в поле течений.

Для анализа распределения взвешенного вещества в прибрежной зоне очень важным является использование комплексного подхода, основанного на использовании данных дистанционного зондирования и данных измерений ADCP. Всего за исследуемый период было выделено 20 событий резкого увеличения обратного рассеяния. Проведен сравни-

тельный анализ сигнала обратного рассеяния с параметрами ветровых волн, рассчитанных при помощи волновой модели SWAN. Выявлено, что при высоте значительных волн более 1 м наблюдается увеличение сигнала обратного рассеяния, что связано со взмучиванием донных отложений при обрушении волн на мелководье. Обнаружено, что в районе исследований 80 случаев увеличения интенсивности рассеяния связано с ветровым волнением. Остальные случаи связаны со стоком рек и осадками, с воздействием сильного ветра и цветением кокколитофорид.

Работа выполнена по теме госбюджета №0149-2019-0004.

УДК 555.465

## **ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИНЕРЦИОННЫХ ДВИЖЕНИЙ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ**

**Дианский Н.А.<sup>1</sup>, Григорьев А.В.<sup>1</sup>, Зацепин А.Г.<sup>2</sup>, Кубряков А.И.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова,  
Кропоткинский пер., 6, 119034, г. Москва, 8(499)246-72-88, ag-privat@mail.ru

<sup>2</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,

Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-63-92, zatsepin@ocean.ru

<sup>3</sup> Морской гидрофизический институт РАН, ул. Капитанская, 2, 299011, г.

Севастополь, 8(8692)54-04-02, alexander.kubryakov@mhi-ras.ru

Представлен анализ результатов численных расчетов, отражающих изменчивость инерционных колебаний в Черном море в сравнении с данными наблюдений и различие их интенсивности в зависимости от глубины.

The analysis of numerical calculations reflecting the variability of inertial oscillations in comparison with observational data and the difference their intensity depending on the depth is presented.

Представлен анализ результатов численных расчетов развития инерционных колебаний в штормовой период в северо-восточной части Черного моря в сравнении с данными наблюдений и аналитическими решениями. Расчеты подтверждают значительный вклад инерционных движений в формирование полей скоростей течений. Показано, что инерционные движения не оказывают влияния на изменение уровня моря, а их характер соответствует наличию и глубинам залегания квазиодно-

родных слоев в верхнем слое моря [1]. Приводится сопоставление результатов моделирования с натурными данными дрейфтерных наблюдений и данными измерений зондирующего комплекса «Аквалог» ИО РАН. Отмечено, что интенсивность инерционных движений в глубоководных областях моря значительно превышает ее в мелководной зоне, при этом вклад инерционных течений в общую циркуляцию в глубоководной зоне моря сравним с мезомасштабным.

Анализ вертикальной структуры инерционных колебаний показал, что имеет место расслоение инерционных движений по амплитуде и фазе на различных глубинах в приповерхностном слое. С глубиной величины амплитуд инерционных колебаний группируются в квазиоднородных слоях, причем с глубиной гармонический характер амплитуды инерционных колебаний искажается.

Показано, что используемые при расчетах динамики вод региона численные модели (INMOM и POM) адекватно воспроизводят инерционные колебания в сравнении с натурными данными измерений («Аквалог»), как по частоте, так и по амплитуде, рис. 1 [1, 2].

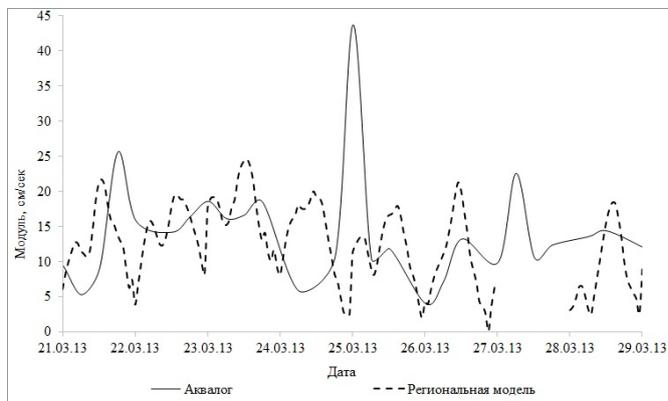


Рис. 1. Временной ход модуля вектора скорости течений, модельных (пунктирная линия) и измеренных комплексом «Аквалог» (сплошная линия), в период шторма 23–28 марта 2013 г. на глубине 30 м

Исследование аналитического решения системы уравнений, описывающей инерционные колебания, показало, что инерционные движения обладают двумя временными масштабами, определяемыми вертикальной вязкостью. Первый, короткий временной масштаб, отвечает за быстрое формирование нового квазистационарного состояния. Он не зави-

сит от коэффициента вязкости и приблизительно равен двум инерционным периодам. Другой, более длинный масштаб затухания инерционных колебаний, связан со стоком энергии квазистационарных колебаний в верхних слоях в глубокие слои моря.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Дианский Н. А., Фомин В. В. Особенности инерционных течений в период шторма 23-28 марта 2013 г. в северо-восточной части Черного моря. // Процессы в геосредах. – 2016. – № 1(5). С. 37–47.

2. Григорьев А.В., Грузинов В.М., Зацепин А.Г., Воронцов А.А., Кубряков А.И., Шаповал К.О. Оперативная океанография северо-восточной части Черного моря: оценки точности моделирования в сравнении с данными натуральных измерений // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2018. – № 1 (367). С. 79–96.

УДК 551.46

### О ПОТОКАХ ТЕПЛА, ИМПУЛЬСА И ЭНЕРГИИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ МОРЯ ПРИ УСТОЙЧИВОЙ СТРАТИФИКАЦИИ

**Навроцкий В.В.**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН,  
Балтийская, 43, 690041, Владивосток, 8(423)231-14-00,  
vnavr@poi.dvo.ru*

Анализ результатов экспериментов в прибрежной зоне моря показал, что при усилении стратификации плотности происходит изменение динамического режима течений. Потoki тепла, импульса и энергии становятся четко периодическими и увеличиваются в 4-5 раз больше, чем при условии пропорциональности потоков и градиентов плотности.

Analysis of results of experiments in the near-shore region of sea has shown that in conditions with intensification of stratification the change of dynamic regime takes place. The fluxes of heat, momentum and energy become distinctly periodic and 4-5 times higher, than it would be on the assumption of proportionality of fluxes and density gradients.

Континентальный шельф является зоной наиболее активных взаимодействий между сушей, океаном и атмосферой, которые включают естественные и антропогенные физические, биологические, биогеохимические и геоморфологические процессы. Продуктивность шельфовых вод и негативные антропологические эффекты существенно зависят от динамических процессов, осуществляющих перенос вещества, механической энергии, тепла и импульса между шельфом и открытым морем.

Значительная часть питательных веществ в океане выпадает из биологического цикла безвозвратно, образуя донные осадки. Это значит, что для квазистационарного состояния океанических экосистем необходим некоторый приток минеральных и органических веществ с суши. Этот приток, включающий также загрязняющие вещества, осуществляется различными путями, и он максимальный в прибрежной зоне моря.

Растворенное и взвешенное терригенное вещество концентрируется в придонном слое и в донных осадках. Оно должно быть перенесено в открытое море не только для питания и размножения фитопланктона, но и для вентиляции прибрежных вод. Комплексные эксперименты, проводимые в прибрежной зоне залива Петра Великого в Японском море, показали, что существуют кардинальные различия между динамическими процессами в холодные и теплые периоды года.

На рис.1 показаны колебания температуры и потоков тепла в течение 8 суток в июне и сентябре 2017 г. на придонном горизонте 23 м при глубине дна 24 м. Вертикальный градиент температуры в сентябре был примерно в 5 раз больше, чем в июне, но амплитуды колебаний потоков тепла были больше в 25 раз. Это значит, что динамический режим в сентябре был намного активнее, и он характеризовался четкими периодическими колебаниями температуры с амплитудами около 15 градусов и средней периодичностью 16–17 ч. Инерционный период в районе проводимых экспериментов близок к 17,5 ч, и очевидно, что в данном случае мы имеем дело с гравитационно-инерционными волнами. Типичным для проводимых нами измерений при хорошо выраженном термоклине является чередование преобладающей периодичности 10–14 и 16–18 ч.

Волновая структура колебаний температуры, скорости и давления приводит к значительной перемежаемости всех потоков и процессов перемешивания. Произведения колебаний температуры на колебания скорости можно использовать как прокси потоков импульса для их относительного сравнения. На рис. 2 показаны компоненты таких потоков импульса в придонном слое, рассчитанных по измерениям, представленным на рис.1.

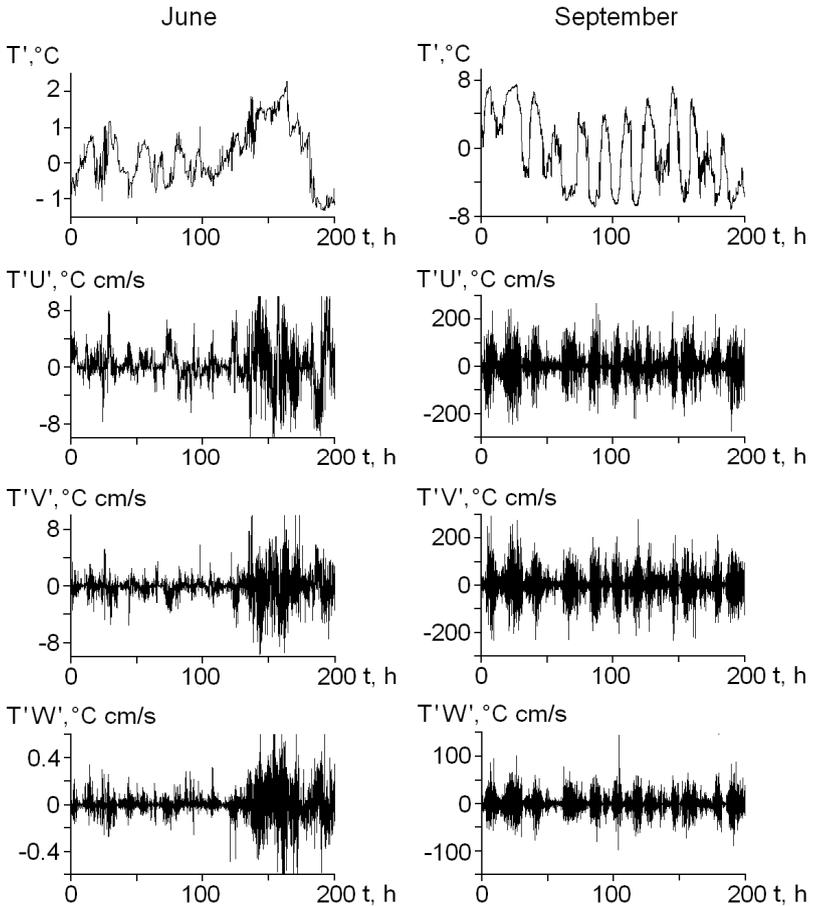


Рис. 1. Колебания температуры и потоков тепла (в град $\times$ см/с) в придонном слое в прибрежной зоне зал. Петра Великого в июне и сентябре 2017 г.

Для анализа потоков энергии мы использовали данные о колебаниях давления у дна (выраженных в сантиметрах водного столба) и одновременные измерения скорости течений вблизи датчика давления. На рис. 3 приведены колебания давления и компонент потоков энергии в то же время, как и потоки импульса на рис. 2. Структура потоков энергии периодична, но с периодом в два раза меньше периодов колебаний давле-

ния. Это обусловлено тем, что максимальные значения модуля скорости частиц в волне достигаются два раза с разным знаком за один период колебания давления.

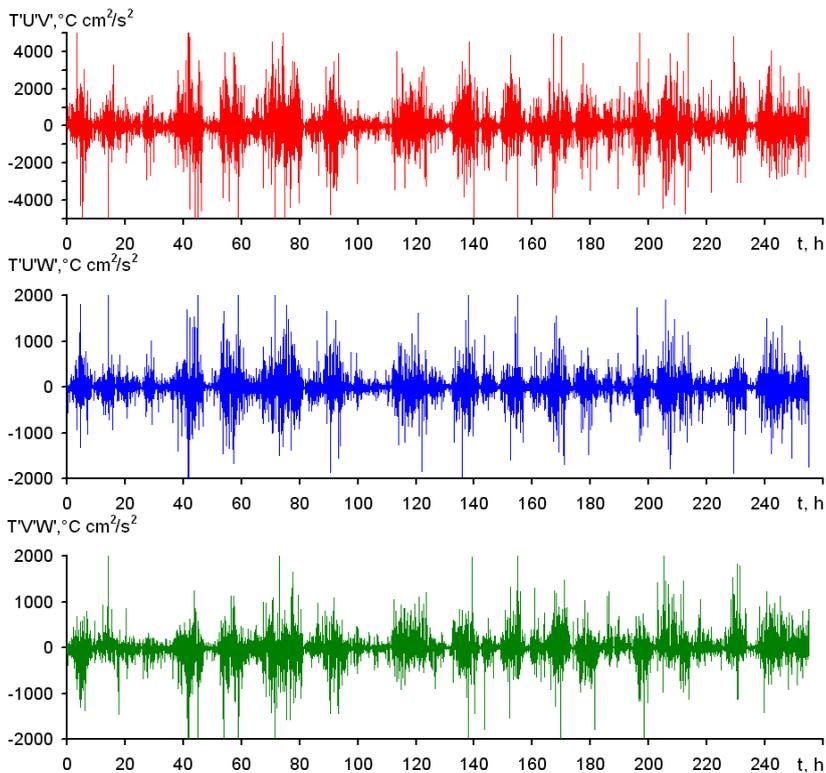


Рис. 2. Колебания горизонтальных и вертикальных компонент потоков импульса в придонно слое (7–18 сентября 2017 г.)

Важно отметить, что вертикальные потоки тепла, импульса и энергии в наших наблюдениях были того же порядка или только в два раза меньше потоков горизонтальных. Мы приходим к заключению, что обусловленное внутренними волнами перемешивание в сильно стратифицированных придонных слоях может быть намного больше, чем в однородных или слабо стратифицированных слоях.

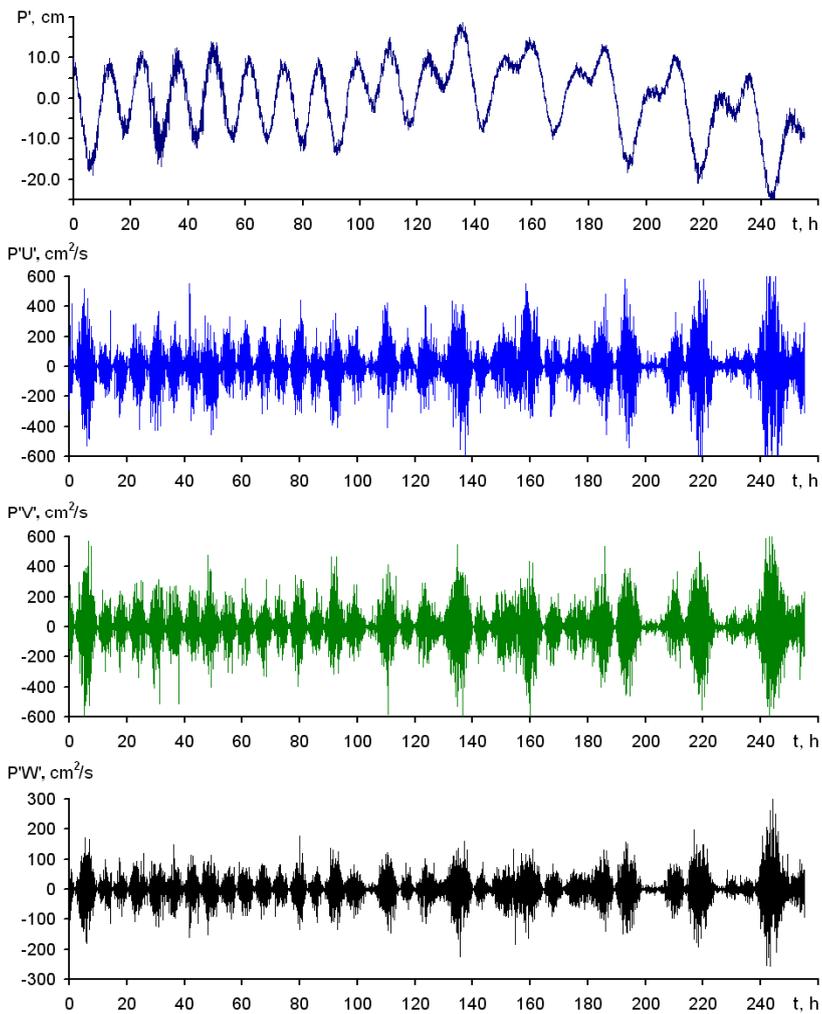


Рис. 3. Колебания давления и потоков энергии в придонном слое (7–18 сентября 2017 г.)

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАЦИОНАРНЫХ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ БУЕВ ДЛЯ ОКЕАНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**Левченко Д.Г., Бадулин С.В., Зацепин А.Г., Ивонин Д.В.,  
Вершинин В.В., Куклев С.Б., Островский А.Г.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117995, Москва, Нахимовский пр., 36,  
т: (499) 124-0197, levch35@mail.ru*

В области изучения Мирового океана в последнее время наряду с традиционными экспедиционными методами исследований и спутниковыми наблюдениями все более широко используются автоматические непрерывно действующие системы мониторинга с помощью донных и притопленных автономных станций, плавающих и заякоренных буев, дрейфующих и ныряющих модулей. Это связано с необходимостью изучения ряда явлений в Мировом океане, которые невозможно или сложно исследовать с помощью научных судов или дистанционных наблюдений. К таким явлениям относятся медленно развивающиеся процессы или редко появляющиеся события. Например, развитие штормов, сезонные изменения взаимодействия атмосферы и океана, вариации течений, экологические процессы, донные землетрясения, цунами, отдельные аномальные волны и др. Для исследования таких явлений требуется регистрация длинных временных рядов многих связанных параметров, преимущественно локализованных в конкретной географической точке океана [1, 3, 4, 5].

В мировой практике в этой области известны международные системы заякоренных и ныряющих буев проекта «Арго», системы стационарных буев, расположенных вдоль экватора, для исследования явления Эль-Ниньо, многочисленные волномерные и метео буи вдоль атлантического и тихоокеанского побережья США и др.

В России уникальные возможности для изучения различных явлений морской среды и отработки технологий океанических исследований представляются на полигоне Южного отделения ИО РАН в г. Геленджике. Основной задачей полигона является круглогодичный мониторинг состояния водной среды и биоты в регионе, а также отработка новых технологий и технических средств для использования в различных

океанических исследованиях. Размещенные на полигоне автономные измерительные системы в составе донных станций с акустическими доплеровскими профилографами скорости течения (ADCP), автоматических зондов-профилографов «Аквалог» и термокос на заякоренных буйковых станциях и буйковой метеостанции обеспечивают регулярное получение гидрофизических, гидрохимических, метеорологических и биооптических данных с высоким пространственно-временным разрешением и их оперативную передачу в береговой центр в ряде случаев. Морские экспедиционные работы обеспечиваются малым судном БМП-74 «Ашамба».

Значительное расширение возможностей полигона Южного отделения ИО РАН, по нашему мнению, можно было бы осуществить при установке в районе Голубой бухты стационарного стабилизированного буя и оснащении его высококачественной измерительной аппаратурой.

Стабилизированные буи имеют высокую остойчивость, малочувствительны к волнению, течениям и ветровому давлению. Это достигается смещением центра тяжести глубоко под воду, малой надводной и подводной парусностью и специальной системой якорения. Для исключения вращения вокруг оси стабилизированные буи крепятся ко дну на двух или трех якорях с применением промежуточных притопленных плавучестей. Стабилизированные буи обеспечивают наилучшие условия для работы аппаратуры, позволяют размещать контактные измерительные приборы в приводном слое до высоты 15–20 м над уровнем моря, подключать кабельными линиями глубоководные и донные станции, осуществлять скоростную кабельную связь с берегом. Высокое расположение радиолокационной и видео аппаратуры обеспечивают радиус обзора до нескольких десятков километров. Такие буи можно оснащать эффективными волновыми и солнечными источниками питания.

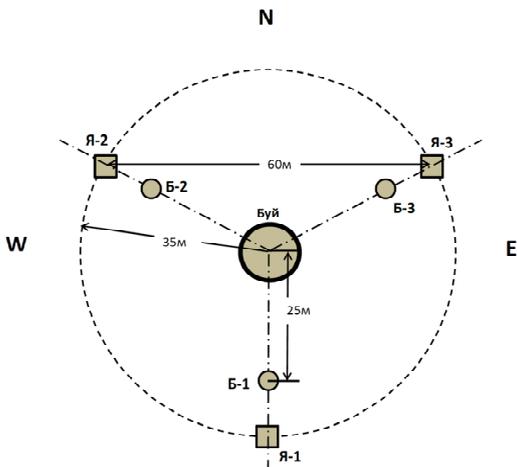
Следует отметить, что стабилизированный исследовательский буй ранее использовался в Южном отделении ИО РАН с 1972 г. по 1982 г. Буй был установлен в районе Голубой бухты в 4 милях от берега на участке с глубиной 85–90 м. Буй представлял собой стальной цилиндр диаметром около метра и длиной 48 м. Была применена двухякорная система с притопленными бочками, позволившая исключить вращение буя вокруг оси и уменьшить волновую нагрузку.

На бую был установлен довольно ограниченный состав аппаратуры: анемометры, датчики скорости и направления течения, датчики температуры воды на нескольких горизонтах, а также струнный волнограф. Аппаратура питалась от аккумуляторов и батарей, записи результатов измерений приходилось доставлять на берег с помощью плавсредств.

Несмотря на эти недостатки буй находился в эксплуатации более десяти лет, т.к. позволял получать уникальные непрерывные записи морских параметров в естественных условиях.

Стальная труба большого диаметра, из которой был изготовлен буй, подвергалась сильной коррозии в морской воде, поэтому буй был выведен из эксплуатации по условиям своего технического состояния. В конце 80-х – начале 90-х годов был изготовлен новый стационарный буй для длительных морских экспериментов. Однако его установка и оснащение не осуществились из-за отсутствия финансирования.

В ИО РАН в настоящее время проводится разработка стационарного стабилизированного исследовательского буя новой конструкции, и ищутся средства для его изготовления. Отличительными особенностями буя являются предполагаемое изготовление полого корпуса из предварительно напряженного железобетона, использование регулируемого демпфера, применение притопленных плавучестей с внутренними кессонами и др.



Размещение стабилизированного буя и системы якорения

### ***Основные параметры проектируемого стационарного стабилизированного буя ИО РАН***

Предполагаемый материал – предварительно напряженный железобетон. Общая длина буя 45 м (подводная часть: длина 30 м; диаметр 2,4 м, надводная часть: длина корпуса 3 м; длина мачты 15 м).

Общая масса буя 103,6 т, плавучесть 31 т.

Собственные частоты колебаний буя: вертикальные 0,09 Гц; наклонные 0,05 Гц. Коэффициент демпфирования по вертикали на резонансной частоте 15. Максимальный расчетный наклон на резонансной частоте  $\approx 5^0$ . Усталостная нагрузка буя (срок 10 лет):  $2,5 \cdot 10^6$  циклов при обеспеченности 0,995 для надводной части и 0,999 для подводной.

Измерительное и трансляционное оборудование стационарного стабилизированного буя

1. Автоматическая морская метеостанция, расположенная на высоте до 20 м от поверхности моря.

2. Распределенные датчики скорости ветра, температуры и влажности для измерения профилей в приземном слое атмосферы и расчета потоков импульса, тепла и влаги.

3. Видеосистема для измерения характеристик поверхностного волнения.

4. Струнный волнограф для измерения высоты и формы волн.

5. Измерители нисходящего и восходящего излучения для оценки радиационного баланса.

6. Термокоса с расположением датчиков от водной поверхности до 40–50 м глубины.

7. Автоматическая лебедка для выполнения зондирований от поверхности до дна СТД-зондом и дополнительными датчиками (флюоресценции хлорофилла «а», концентрации взвеси, растворенного кислорода, нитратов).

8. Измерение скорости течений акустическим локальным измерителем.

9. Подводная видеокамера с подсветкой для наблюдения различных биологических объектов.

10. Донные кабельные сейсмоакустические станции для измерения морского шума, регистрации местных и удаленных землетрясений и акустосейсмической томографии.

11. Система кабельной или радио связи с берегом для передачи данных и команд управления.

Дополнительно могут быть установлены:

12. Автоматическая система идентификации судов (АИС)

13. Транслятор для мобильной связи (Билайн, Мегафон).

Работа выполнялась в рамках государственного задания по теме № 0149-2016-0002 «Геодинамика и полезные ископаемые Арктического региона, северных областей Тихого и Атлантического океанов и внутренних морей России».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зацепин А.Г., Куклев С.Б., Мысленков С.А., Очередник В.В., Подымов О.И., Сильвестрова К.П. Изучение мезо- и субмезомасштабных гидрофизических процессов на шельфе и континентальном склоне дистанционными и контактными методами // Глава в монографии «Некоторые результаты комплексной прибрежной экспедиции «Черное море – 2017» на МНИС «Ашамба» под редакцией А.Г. Зацепина и С.Б. Куклева. 2018. – Москва: изд. «Научный мир». С. 16-43. ISBN 978-5-91522-472-7.
2. Вайсбанд В.Б., Носков Е.П., Подымов И.С. Стабилизированный буй для установки гидрометеорологической аппаратуры // Метеорология и гидрология, 1974. №7. С. 96-101.
3. Badulin S.I., Vershinin V.V., Zatsepin A.G., Ivonin D.V., Levchenko D.G., Ostrovskii A.G., Lobkovsky L.I. A Project of Concrete Stabilized Spar Buoy for Monitoring Near-shore Environment. Affil.: P.P.Shirshov Inst. of Oceanol. RAS. Conf.: 15th Intern. Worksh. on Wave Hindcasting and Forecasting & 6th Coastal Hazard Symposium. Liverpool, UK. 2017. Proc. P. 14. DOI: 10.13140/RG.2.2.25568.99840.
4. Лобковский Л.И., Левченко Д.Г., Леонов А.В., Амбросимов А.К. Геоэкологический мониторинг морских нефтегазоносных акваторий. – М.: Наука, 2005. 326 с.

УДК 551.46

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ КАСКАДИНГА НА СКЛОНЕ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ

**Лобанов В.Б., Сергеев А.Ф., Навроцкий В.В., Воронин А.А.,  
Горин И.И., Павлова Е.П.**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева  
Дальневосточного отделения Российской академии наук,  
ул. Балтийская, 43, 690041, г. Владивосток, +7 (423) 2311400,  
lobanov@poi.dvo.ru*

В статье представлены результаты прямых наблюдений каскадинга холодных вод на континентальном склоне залива Петра Великого зимой 2017-2018 гг., зарегистрированного с помощью трех автономных донных станций (АДС), установленных в центральном каньоне залива на глубинах 660, 1145 и

1973 м. Более 10 эпизодов каскадинга отмечено в верхней части склона и 2 из них достигли подножья. Близость по величине колебаний всех компонент скорости позволяет предположить, что мы наблюдаем эпизоды квазиизотропной турбулентности, образующейся при каскадном обрушении больших объемов воды при нарушении равновесной структуры поля плотности. Явление очень важное для понимания процессов осадкообразования у подножья континентального склона и процесса континентального апвеллинга обогащенных биогенами вод.

Results of direct observations of cold water cascading along the continental slope of Peter the Great Bay during winter 2017–2018 registered by three moored autonomous bottom stations (ABS) located in the canyon in the central part of the bay at 651, 1145 and 1973 m are discussed in this paper. More than 10 events of cascading were observed in the upper slope and 2 of them reached lower slope. Close values of all velocity components suggests that cascading of large water volumes generate a quasi-isotropic turbulence in bottom layer by breaking the density structure. This is very important process to understand sedimentation process at the slope and supply water rich of nutrients.

Склоновая конвекция (или каскадинг) в заливе Петра Великого является одним из механизмов не только очистки вод залива, но и вентиляции глубинных слоев всего Японского моря. Процесс каскадинга связан со стеканием вод повышенной плотности, формирующихся на шельфе зимой в результате термохалинной конвекции. Наиболее заметный результат каскадинга был зарегистрирован нами аномально холодной зимой 2001 г., когда в результате конвективных процессов произошло обновление придонных вод Центральной котловины моря (2500–3600 м) [1, 2].

На основании предыдущих измерений (2012–2017 гг.) было установлено, что ежегодно в период с конца января по середину апреля отмечается несколько эпизодов подхода вод высокой плотности к кромке шельфа (100 м), при этом только дважды было зарегистрировано проникновение каскадинга до средней части склона (около 1000 м) и ни разу до его подножья (2000 м и более) [3]. Одной из причин могло быть неудачное расположение АДС относительно рельефа дна.

В зимний период 2017–2018 гг. для планирования расположения АДС была использована детальная съемка дна, выполненная ТОИ ДВО РАН с помощью многолучевого эхолота (В.Н. Карнаух). АДС были рас-

положены вдоль оси центрального каньона континентального склона (около  $131^{\circ}48'$  в.д.) с учетом его топографических особенностей на глубинах 660, 1145 и 1973 м (рис. 1).

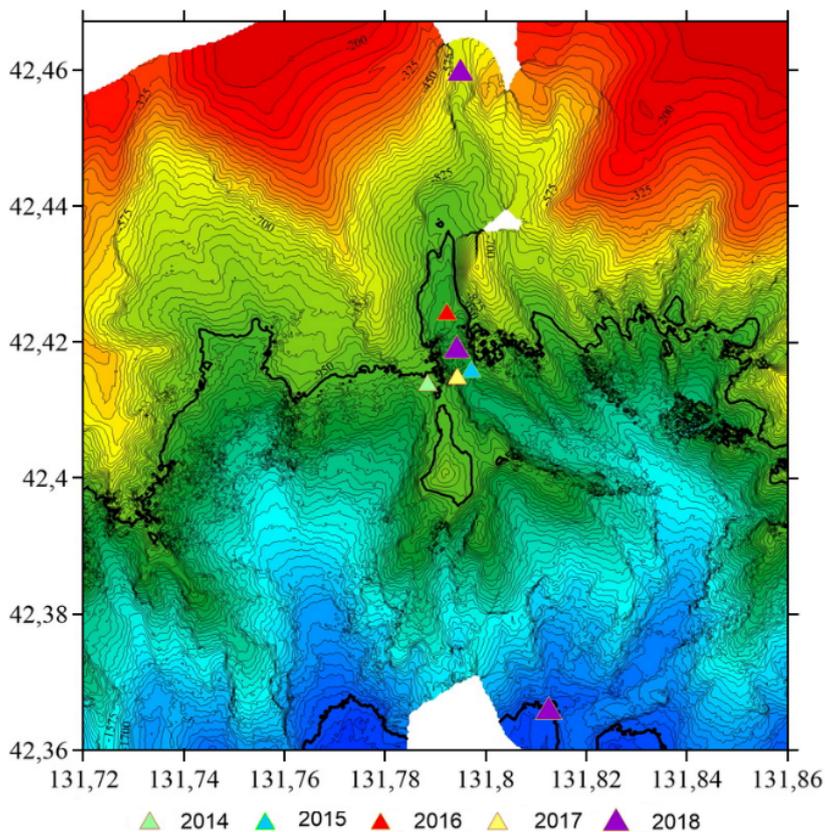


Рис. 1. Схема расположения АДС в каньоне центральной части континентального склона залива Петра Великого

По результатам этих измерений впервые инструментально зарегистрировано глубокое проникновение каскадинга, достигающее подножья склона. При этом на глубине 651 м каскадинг был зарегистрирован более 10 раз, на глубине 1136 м – 7 раз и 2 раза отмечен в нижней части склона на глубине 1967 м (рис. 2). Продолжительность каждого эпизода

каскадинга составляла 10–30 часов в виде резких изменений температуры и трех компонент скорости течений на отрезке примерно от 700 до 2700 ч с интервалами от 6–7 до 24–25 суток.

Во всех событиях каскадинга проявляется хорошее совпадение во времени резких изменений температуры и компонент скорости течений. На большей части наблюдаемого периода времени спектр имеет характер белого шума, но во время эпизода происходит резкое изменение спектров: наблюдаются потоки энергии из интервала периодов больше 10 000 ч в интервалы меньше 3000 ч, а затем вплоть до 10 ч и меньше.

Наиболее четко это проявляется на горизонте 600 м для температуры и компоненты скорости  $U$ , наименее выражено для горизонта 2000 м (рис. 3). Поскольку колебания всех компонент скорости близки по величине, то можно предположить, что мы наблюдаем эпизоды квазиизотропной турбулентности, образующейся при каскадном обрушении больших объемов воды при нарушении равновесной структуры поля плотности. Явление очень важное для понимания процессов осадкообразования у подножья континентального склона и процесса континентального апвеллинга обогащенных биогенами вод.

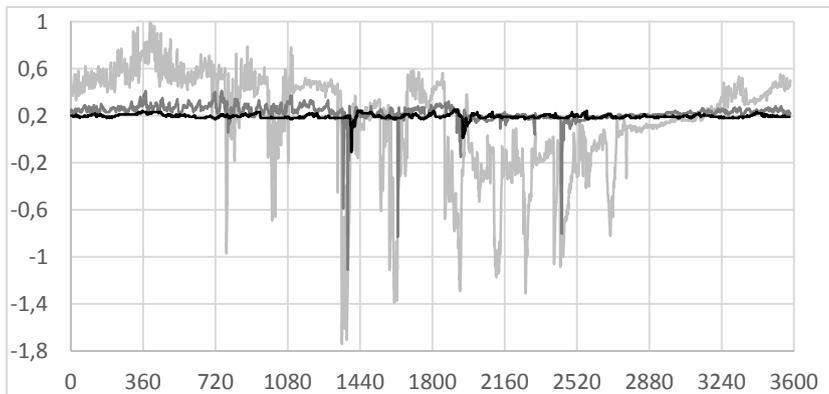


Рис. 2. Изменение температуры воды в период 23.11.2017- 29.04.2018 г. по данным АБС, установленных в центральном каньоне склона залива Петра Великого на глубинах 651 м (светло-серый), 1136 м (серый) и 1967 м (черный)

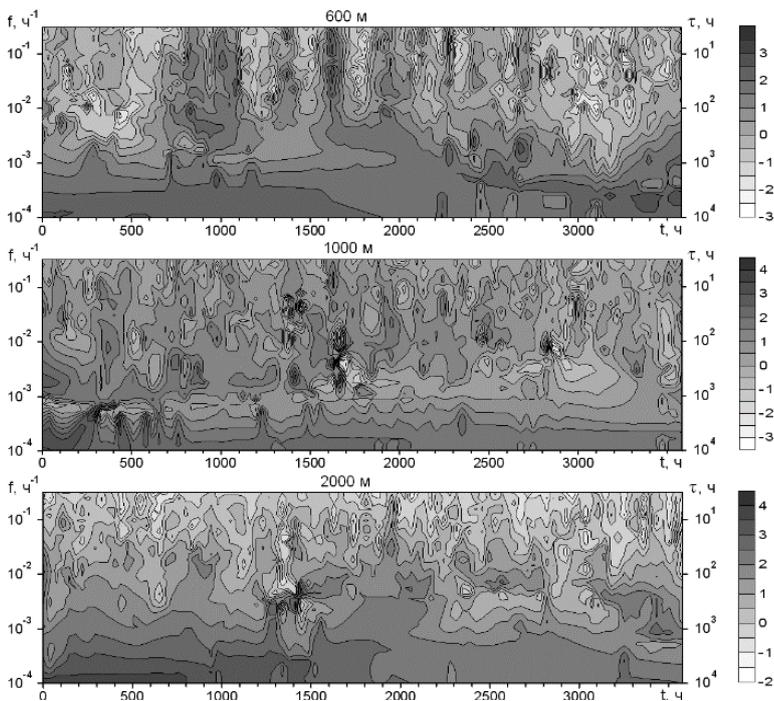


Рис. 3. Спектр Гильберта-Хуанга – временная изменчивость спектров температуры воды на трех АДС

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Lobanov V., Salyuk A., Ponomarev V., Talley L., Kim K., Kim K-R, Tishchenko P., Nedashkovskiy A., Kim G., Sagalaev S. Renewal of bottom water in the Japan/East sea // Proc. 17th Int. Symp. Okhotsk Sea & Sea Ice, 24-28 Feb., Mombetsu Japan. Japan: OSCORA, 2002. P. 31–36.

2. Talley L.D., Lobanov V., Ponomarev V., Salyuk A., Tishchenko P., Zhabin I., Riser S. Deep convection and brine rejection in the Japan Sea // Geophys. Res. Lett. – 2003. V. 30. N. 4. – P. 1-4.  
doi: 10.1029/20002GL016451.

3. Lobanov V., A. Sergeev, I. Gorin, P. Shcherbinin, A. Voronin, D. Kaplunenko, O. Popov and T. Gulenko. Observations of dense water cascading along the Peter the Great Bay slope in the northwestern Japan Sea // Int. Conf. Fluxes and Structures in Fluids, Selected Papers. Eds. Yu.D. Chashechkin, V.G. Baydulov, – M: MAKS Press, 2014. P. 142–150.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕВЕРБЕРАЦИИ НА  
ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОГЕРЕНТНОГО  
СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДНА В  
МЕЛКОВОДНЫХ АКВАТОРИЯХ**

**Калинина В.И.<sup>1</sup>, Хилько А.И.<sup>1</sup>, Смирнов И.П.<sup>1</sup>, Уваров В.В.<sup>1</sup>,  
Курин В.В.<sup>2</sup>, Хилько А.А.<sup>2</sup>, Быстранов В.Б.<sup>1</sup>, Малеханов А.И.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Институт прикладной физики РАН,  
ул. Ульянова, 46, 603950, г. Нижний Новгород,  
8(831)4368490, a.khil@appl.sci-nnov.ru*

*<sup>2</sup>Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
пр. Гагарина, 23, 603123, г. Нижний Новгород,  
8(831)4365490, antonkhilko@mail.ru*

Анализируется влияние реверберации на эффективность когерентного метода сейсмоакустического зондирования морского дна в мелководных акваториях. Экспериментально и путем численного моделирования исследована структура помех реверберации, возникающих при рассеянии зондирующих сигналов на ветровом волнении и неровностях дна, и показано существенное их влияние.

The effects of reverberation in coherent seismic acoustic sounding of the bottom in shallow-water basins are analyzed. By numerical simulation, as well as experimentally, the structures of reverberation interference causing by the scattering of probing seismoacoustic signals by wind waves and bottom irregularities have been investigated and compared.

Когерентные методы сейсмоакустического (СА) зондирования [1, 2] позволяют использовать относительно маломощные источники, что делает такие методы экологически более чистыми. Необходимо учитывать, однако, что отраженные от слоев морского дна импульсы измеряются на фоне аддитивных шумов и помех, в том числе, помех реверберации. Последние возникают в результате рассеяния зондирующих импульсов на различного рода неоднородностях морской среды и ее границ и становятся особенно существенными при выполнении работ в мелководных акваториях, включая прибрежные районы моря, поймы больших рек и речные водохранилища.

В предположении малых случайных возмущений на границах раздела водного слоя, реверберация будет представлять собой сумму когерентной составляющей и компоненты, рассеянной случайными возмущениями. Спектральная плотность мощности  $|g(\omega)|^2$  случайной компоненты при возбуждении СА зондирующих импульсов заданным источником может быть найдена путем интегрирования углового спектра реверберации по полному телесному углу  $\Omega_{rev}$  всех лучей, приходящих на приемный элемент  $|g(\omega)|^2 = \int \int_{\Omega_R} N(\mathbf{e}_R, \omega) d\Omega(\mathbf{e}_R)$ , где  $N(\mathbf{e}_R, \omega)$  – уг-

ловой спектр поверхностной реверберации. Как показывают расчеты и натурные измерения [1, 2], наибольший вклад в реверберационные помехи вносит рассеяние на неровностях донной поверхности. Такую компоненту не удастся ослабить путем доплеровской частотной фильтрации, в отличие от компоненты, обусловленной рассеянием на ветровом волнении.

На рис. 1 показана интенсивность донной реверберации на входе горизонтальной решетки гидрофонов для различных значений временной задержки  $T_i$  и величины  $\delta$  (среднеквадратичного наклона донной поверхности). Видно, что уровень реверберации монотонно растет с ростом обеих этих величин.

Другим источником помех реверберации являются неровности донной поверхности в береговой зоне. В качестве примера на рис. 2 показана структура сигнала при зондировании дна в Горьковском водохранилище вблизи г. Чкаловск. Зондирующие сигналы излучались в виде ЛЧМ импульсов в полосе 200-700 Гц, которые принимались на удалении расстояние 1 км от берега в точке с глубиной места 12 метров (источник располагался на глубине 3 метра). В диапазоне задержек, которые соответствует сигналам, отраженным от донных слоев на глубинах ~50–100 м (в интервале задержек до 0.1 сек – см. врезку на рис. 2, справа), фон помех реверберации достигал уровня –10 дБ по отношению к излучаемому сигналу. Для относительно больших задержек (до нескольких секунд) наблюдались интенсивные помехи, связанные с рассеянием на удаленных подводных возвышенностях и отражениями от противоположного берега водохранилища (на рис. 2 они отвечают интервалу задержек 4-6 сек).

Естественно ожидать, что еще более интенсивная реверберация возникает при работе в закрытых водоемах или речных поймах (отметим, что сейсморазведка в поймах сибирских рек является одной из актуальных задач).

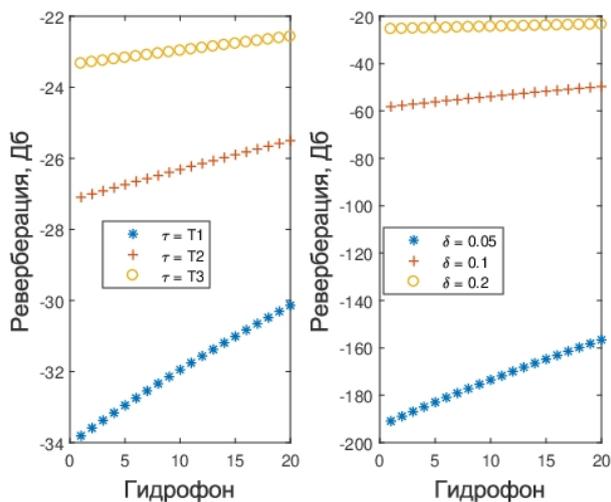


Рис. 1. Интенсивность донной реверберации на входе приемной решетки (левый рисунок:  $\delta = 0.015$ , правый рисунок:  $\tau = T1$ )

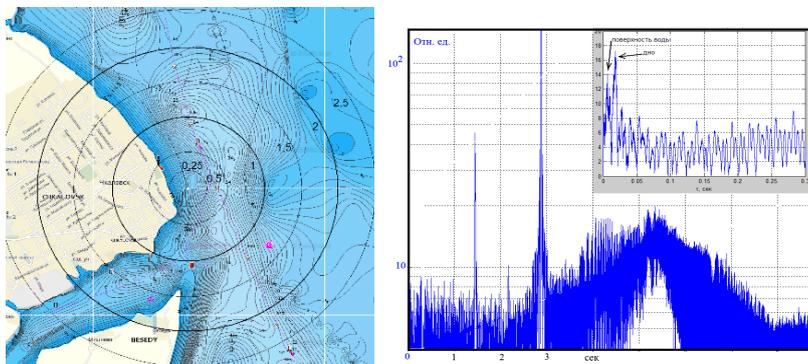


Рис. 2. Район проведения экспериментов на акватории Горьковского водохранилища (слева); временная структура принятых сигналов на разных интервалах задержки (справа)

На рис. 3 показан пример моделирования для модели русла реки шириной 800 метров и глубиной 33 метра, при положении источника на глубине 16 метров, излучении им ЛЧМ импульсов длительностью 0.15

сек в широкой полосе 1.5–2.5 кГц и положении приемника на расстоянии 30 метров от источника. Видно, что в структуре выходных сигналов согласованного фильтра в вертикальном и горизонтальном распределениях (слева и справа, соответственно), кроме водной компоненты (прямого луча), присутствуют компоненты, отвечающие рассеянию на водной и донной поверхности, которые имеют уровень  $-10 \dots 15$  дБ по отношению к водной волне, но при этом превышают на  $10 \dots 20$  дБ уровень полезных сигналов отражений от донных слоев.

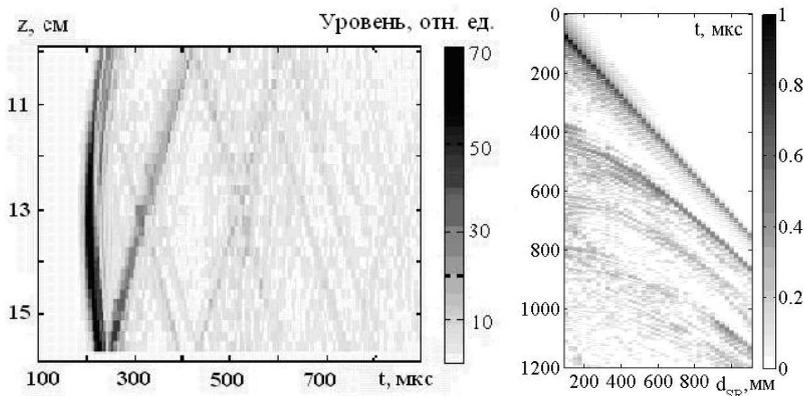


Рис. 3. Структура вертикального (слева) и горизонтального (справа) распределений сигналов на выходе согласованного фильтра для модели поймы реки (параметры модели к тексту)

Таким образом, из представленных нами результатов расчетов и натурных экспериментов следует, что в условиях мелководья и вблизи береговой линии, поверхностная реверберация имеет высокие уровни и в некоторых случаях может полностью маскировать полезные сигналы отражений от слоев донной структуры. Это означает необходимость повышения пороговых значений при оценке параметров донных слоев и существенное усложнение задачи реконструкции структуры донных пород в целом (фактически, это приводит к уменьшению глубины сейсмического разреза). Особенно сильно этот «маскирующий» эффект проявляется при зондировании относительно неглубоких донных слоев, сигналы отражения от которых наблюдаются на малых интервалах задержек. Единственным методом ослабления таких помех представляется частотное, пространственное и импульсное накопление сигналов.

Например, для той же модели речной поймы показано, что накопление сигналов по апертуре приемной решетки с формированием диаграммы направленности позволяет подавить помеху реверберации на 20 дБ и тем самым поднять заметно помехоустойчивость полезных сигналов.

Работа выполнена в рамках госзадания ИПФ РАН (тема № 0035-2014-0003) и частично поддержана РФФИ в части выполнения экспериментальных исследований (проект № 16-29-02081).

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Лазарев В. А.** Когерентное сейсмоакустическое профилирование морского дна с использованием широкополосных сигналов / В. А. Лазарев, А. И. Малеханов, Л. Р. Мерклин, В. И. Романова, В. И. Таланов, А. И. Хилько // *Океанология*. 2013. – Т. 53. – № 6. – С. 843–850.

2. **Калинина В. И.** Когерентная морская сейсмоакустика: новые подходы к реконструкции структуры донных слоев в шельфовых акваториях / В. И. Калинина, И. П. Смирнов, А. И. Малеханов, А. И. Хилько // *Изв. РАН. Сер. Физическая*. 2017. – Т. 81. – № 8. – С. 1020–1027.

УДК 551.465

### **ПРИМЕНЕНИЕ ИНФРАКРАСНОЙ ПИРОМЕТРИИ В ИЗУЧЕНИИ СТРУКТУРЫ СТОКА РЕКИ ШАХЕ В ЧЕРНОЕ МОРЕ СОВМЕСТНО С ТРАДИЦИОННЫМИ ДИСТАНЦИОННЫМИ И КОНТАКТНЫМИ МЕТОДАМИ**

**Хлебников Д.В.<sup>1</sup>, Иванов А.Ю.<sup>1</sup>, Коновалов Б.В.<sup>1</sup>,  
Соловьев Д.М.<sup>2</sup>, Терлеева Н.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 7(499)124-73-92, dx@ocean.ru*  
<sup>2</sup> *Морской гидрофизический институт РАН,  
ул. Капитанская 2, 299011, г. Севастополь, 7 (8692) 54 52 41, solmit@gmail.com*

В докладе представлены предварительные результаты исследования структуры стока реки Шахе в Черное море в июне 2018 г. экспедицией Института океанологии им. П.П. Ширинова РАН с применением портативного инфракрасного пирометра «Кельвин АРТО 350 Ц» совместно с STD-зондом YSI 6600 и использованием синхронных данных с ИСЗ Sentinel-1В и Sentinel-2А.

The report presents preliminary results of the research of the flow structure of the Shahe River to the Black Sea in June 2018 by the expedition of the Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences using the «Kelvin ARTO 350 C» portable infrared pyrometer together with the YSI 6600 CTD probe and using synchronous data from the Sentinel-1B satellite and Sentinel-2A.

В докладе представлены предварительные результаты исследований структуры выноса реки Шахе в Черное море в мае-июне 2018 г. экспедицией Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН с применением новых бортовых средств дистанционного зондирования температуры поверхности моря одновременно с традиционными дистанционными и контактными методами [1].

Районы выносов малых рек побережья Кавказа Черного моря и их смешения с черноморскими водами являются актуальными объектами исследований. Несмотря на значительный объем уже проведенных ранее исследований и накопленных данных [2], в связи с развитием новых технических средств изучения морей как дистанционными (с ИСЗ Landsat 7, 8 и Sentinel 1, 2, 3 или с борта судна с использованием модульных портативных пирометров и спектрометров) так и контактными способами, проведение новых исследований в этих зонах шельфа Черного моря представляет большой научный интерес. Так, одной из задач является точная интерпретация или «расшифровка» так называемых «сликов» на радарных спутниковых снимках прибрежной зоны моря, могущих быть вызванными как сильными температурными контрастами речного выноса с окружающим его морем с соответствующим приводным ветром не более 5-6 м/с, так и наличием на поверхности моря пленок антропогенного происхождения [3, 4].

Дистанционные снимки полигона на ИСЗ серии «Sentinel» были получены 02.06.2018. На снимке SAR с ИСЗ Sentinel-1B (рис.3) в центре кадра снимка хорошо виден оконтуренный фронт плюма реки Шахе (расположенной справа от выноса и более темной на фоне гор). На оптическом снимке с ИСЗ Sentinel-2A (рис. 4) также отчетливо прослеживается плюм вследствие повышенного рассеяния света минеральной взвесью в стоке реки.

Гидрофизические поля субмезомасштабной структуры выноса реки Шахе на полигоне 02.06.18, построенные при использовании различных сенсоров, как дистанционного зондирования, так и in-situ, дают тождественные по форме и площади плюма результаты, что позволяет говорить о возможности дальнейшего эффективного использования как портативных модульных пирометров на борту НИС, так и средств SAR ИСЗ

для исследования зон смешения выносов рек с основными морскими водными массами. При этом использование портативных модульных пирометров дает значительно лучшее пространственное разрешение по сравнению с датчиками ИСЗ по температуре, а использование САР ИСЗ возможно позволит в любую погоду и в любое время суток фиксировать плумы морских выносов рек.

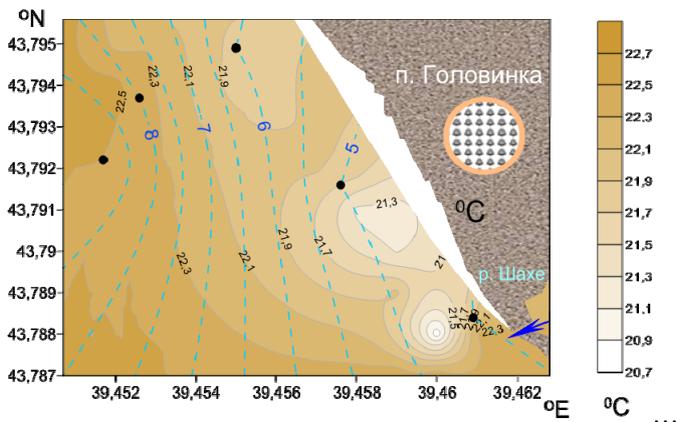


Рис.1. Поле температур поверхностного слоя моря, полученное СТД зондом YSI 6600 (глубина 0,5 м) 02.06.08 в районе выноса р. Шахе

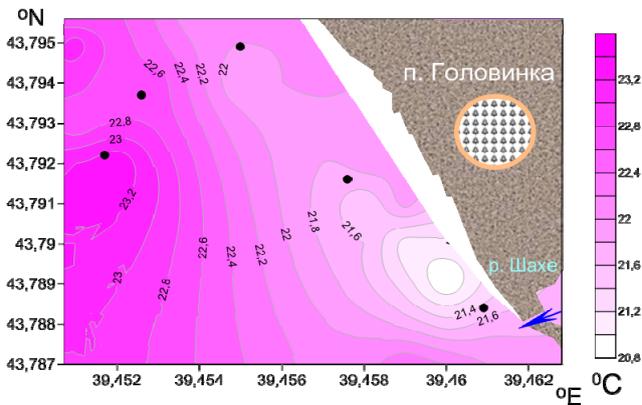


Рис. 2. Поле температур поверхностного слоя моря, полученное пирометром “Кельвин АРТО 350 Ц” 02.06.08 в районе вын. р. Шахе

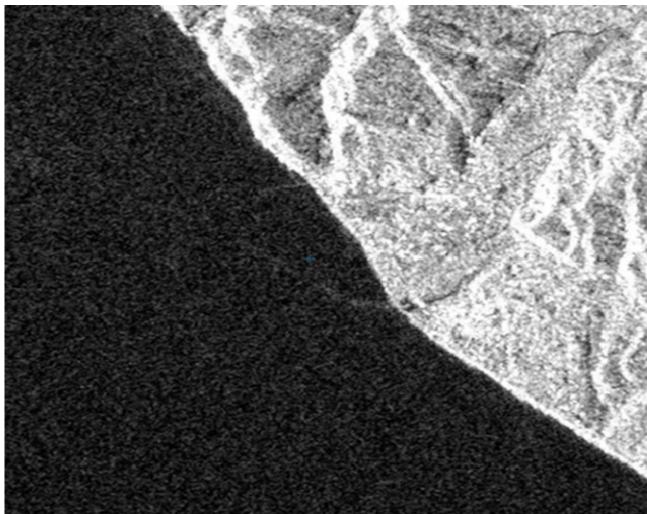


Рис.3. Снимок SAR с борта Sentinel-1B 02.06.2018. В центре снимка хорошо виден оконтуренный фронт плюма реки Шахе (расположенной справа от выноса и более темной на фоне гор)

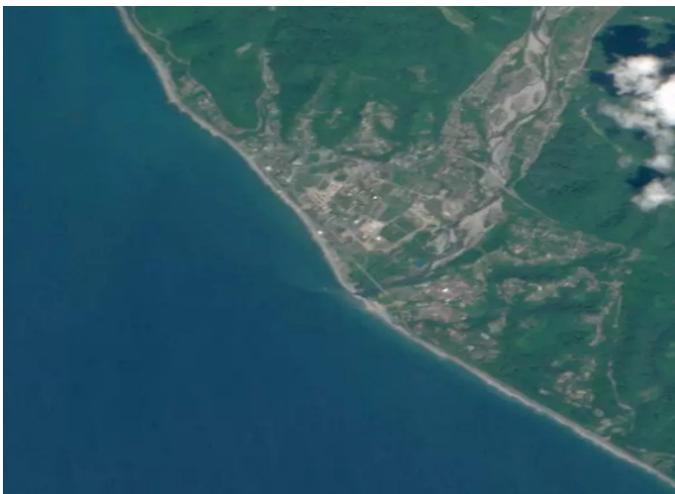


Рис.4. Снимок с борта Sentinel-2A 02.06.2018. В центре снимка видна белая точка – НИС «Ашамба» и плюм реки Шахе

Экспедиционные судовые измерения выполнены за счет средств по теме РНФ 18-17-00156.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Осадчиев А.А.** и др. Малые реки Черного моря. Этап №6. Отчет об экспедиции «Черное море-2018» на НИС «Ашамба». – М.: ИО РАН, 2018.

2. **Завьялов П.О., Маккавеев П.Н., Коновалов Б.В.** и др. Гидрофизические и гидрохимические характеристики морских акваторий у устьев малых рек российского побережья Черного моря // Океанология, 2014. Т. 54. № 3. С. 293–308.

3. **Хлебников Д.В., Иванов А.Ю., Коновалов Б.В., Терлеева Н.В.** Исследование выноса реки Мзымта в Черном море дистанционными (оптическими и радиолокационными) и спектрофотометрическими лабораторными методами // Труды IX Всеросс конф. «Современные проблемы оптики естественных вод» (ONW–2017), СПб, 20-22 сентября 2017.

4. **Иванов А.Ю.** Стики и плёночные образования на космических радиолокационных изображениях // Исслед. Земли из космоса. 2007. № 3. С. 73–96.

УДК 534.23

### **ВЛИЯНИЕ МЕЛКОМАСШТАБНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ НА ЗВУКОПОДВОДНУЮ СВЯЗЬ В МЕЛКОМ МОРЕ В ОСЕННИХ УСЛОВИЯХ**

**Шатравин А.В., Кочетов О.Ю.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-59-96, ashatravin@ocean.ru*

В докладе представлены результаты экспериментального исследования влияния мелкомасштабной изменчивости поля скорости течений на эффективность когерентной звукоподводной связи. Возмущение вертикального распределения скорости течения на величины порядка десятков см/с приводит к существенному росту ошибки декодирования, обусловленному падением амплитуды основного максимума импульсного отклика канала на ~4 дБ.

We present results of an experimental study aimed to investigate the influence of small-scale temporal variability of the current speed on the quality of coherent underwater communications. Current speed variations of the order of tens of cm/s lead to significant increase in bit error ratio caused by  $\sim 4$  dB decay of the main maximum of the channel impulse response.

Одной из основных проблем, возникающих при передаче цифровых данных по физическому каналу, является необходимость компенсации влияния передаточной функции канала на аналоговый сигнал, кодирующий информационную последовательность. Гидроакустический канал в мелком море с этой точки зрения является примером одной из наиболее сложных известных сред для передачи данных [1]. Функции импульсного отклика таких каналов, как правило, имеют нетривиальную структуру, обусловленную многолучевым характером распространения акустических сигналов, и подвержены сильной временной изменчивости. При прогнозе эффективности различных алгоритмов звукоподводной связи (ЗПС) влияние мелкомасштабных флуктуаций параметров среды сложно оценить на основе численного моделирования распространения звукового сигнала ввиду требуемых вычислительных ресурсов и отсутствия исчерпывающей математической модели таких флуктуаций. В связи с этим получил распространение подход, при котором влияющая на ошибку декодирования изменчивость импульсного отклика моделируется с применением случайных функций [2]. Наша работа посвящена экспериментальному исследованию влияния мелкомасштабной изменчивости поля скорости течений на эффективность когерентной звукоподводной связи в условиях осеннего мелководного волновода. Результаты работы могут в дальнейшем быть использованы для развития методов моделирования ЗПС с учетом флуктуаций ошибки демодуляции, задаваемых в виде случайных функций.

Эксперимент по когерентной ЗПС был проведен осенью 2015 г. в районе Геленджика на базе Южного отделения ИО РАН. Две автономные гидроакустические станции, разнесённые на 1 км, попеременно излучали и принимали фазоманипулированный сигнал, кодирующий м-последовательность длиной 2047 символов. Частота несущей составляла 10 кГц, скорость передачи 2000 бит/с, фазовая манипуляция – двоичная. Декодирование осуществлялось с применением эквалайзера с обратной связью MMSE-DFE [3]. Трасса между станциями пролегла примерно вдоль изобаты 36 м. Профили скорости звука, измеренные с помощью STD зонда в начале эксперимента, показаны на рис. 1а. Незначительный

рост скорости звука с глубиной вызван гидростатическим давлением, слабый придонный канал (лучевая картина показана на рис. 1б) на протяжении эксперимента исчезал и снова проявлялся.

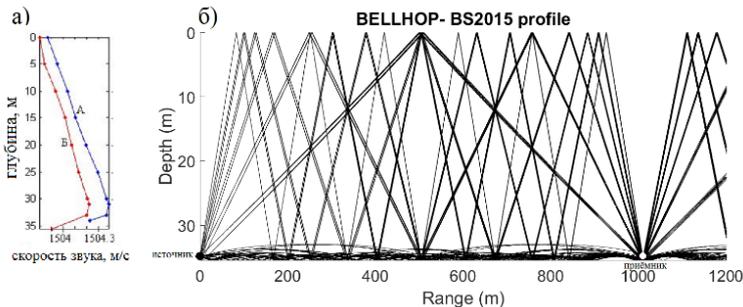


Рис. 1. Профиль скорости звука в точках постановки станций перед началом эксперимента (а) и соответствующая профилю для точки постановки станции А лучевая картина распространения сигнала (б)

Зависимость импульсного отклика канала от времени представлена на рис. 2. Три основных максимума амплитуды приходятся на примерные времена распространения 672, 677 и 684 мс, придонному каналу соответствует время распространения ~670 мс.

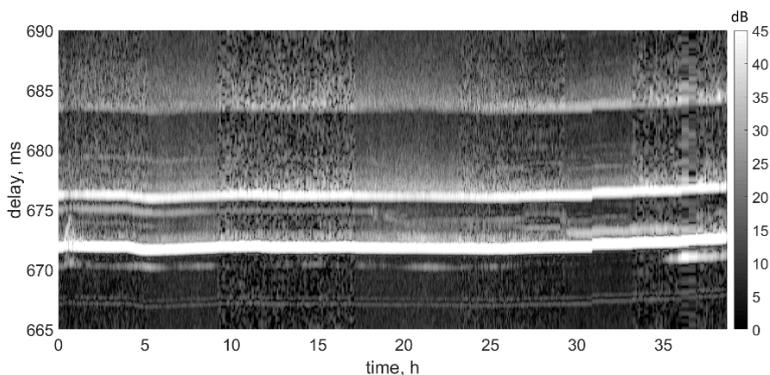


Рис. 2. Зависимость амплитуды функции импульсного отклика канала от времени с начала эксперимента. Уровень приведён в дБ относительно условных единиц

Скорость течения непрерывно регистрировалась во время эксперимента профилографом ADCP, расположенным в 600 м от акустической трассы. В периоды от 4 до 10 и от 16 до 25 часов от начала эксперимента произошли два события, нарушающие однородную по глубине структуру поля скорости течений и, по-видимому, связанные с прохождением субмезомасштабных вихрей. В эти промежутки времени отмечается существенное ухудшение качества декодирования сигнала: для многих посылок доля ошибочно декодированных символов BER (рис. 3а) лежит в диапазоне 0.02-0.06, в то время как для остальных временных диапазонов такие события редки. Рост уровня среднеквадратичной ошибки демодуляции в отмеченные промежутки времени по сравнению с фоновыми значениями составил около 4 дБ. С точки зрения структуры функции импульсного отклика канала, основным фактором, вызывающим падение качества связи в рассматриваемые промежутки времени, стало падение амплитуды главного максимума, соответствующего группе приходов лучей, однократно отраженных от поверхности (рис 3б).

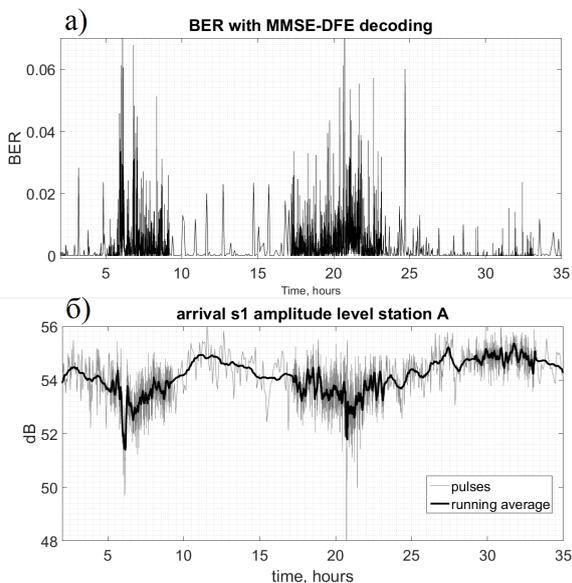


Рис. 3. Доля ошибочно декодированных символов (BER) (а) и амплитуда максимума функции импульсного отклика, соответствующего приходу группы лучей, однократно отраженных от поверхности (б). Уровень в дБ относительно условных единиц

Таким образом, в нашей работе показано, что субмезомасштабная изменчивость поля скорости течений в условиях осеннего мелководного волновода может оказывать существенное влияние на эффективность ЗПС, и этот фактор необходимо учитывать при выборе алгоритмов связи и их параметров для решения задач передачи информации, чувствительных к битовым ошибкам порядка 0.01.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема 0149-2019-0011).

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Stojanovic M., Preisig J.** Underwater acoustic communication channels: Propagation models and statistical characterization. *IEEE communications magazine*. 2009 Jan; 47(1):84–9.
2. **Qarabaqi P., Stojanovic M.** Statistical characterization and computationally efficient modeling of a class of underwater acoustic communication channels. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. 2013 Oct; 38(4):701–17.
3. **Proakis J.** *Digital Communications*, NY USA: McGraw-Hill, 2001.

## II. ГЕОЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА, РЕСУРСЫ

УДК 543.31

### **ФЛУОРИМЕТРИЧЕСКИЙ ДЕТЕКТОР В МЕТОДЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИЗКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ФЕНОЛА В ВОДЕ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ АКВАТОРИЙ**

**Халиков И.С.<sup>1</sup>, Пронин А.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУ «НПО «Тайфун», 249038, г. Обнинск, ул. Победы, 4  
(484)3971884, [khalikov@rpatyphoon.ru](mailto:khalikov@rpatyphoon.ru)

<sup>2</sup>Институт океанологии им.П.П.Шушова РАН, Москва,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, [pronin@ocean.ru](mailto:pronin@ocean.ru)

Проведена оптимизация скорости потока, состава фазы и детектирования при определении фенола в методе обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии с использованием флуориметрического детектора. С целью эффективного способа извлечения фенола из воды применена твердофазная экстракция фенола на сорбенте с сверхсшитым полистиролом. Степень извлечения фенола составляла около 95-100% с использованием 50% ацетонитрила при разных концентрациях фенола и типов воды. Разработан способ пробоподготовки донных отложений с использованием 25% ацетонитрила под действием ультразвука.

Optimization of flow velocity, phase composition and detection at phenol determination made by the method of reverse-phase highly performance liquid chromatography with the use of a fluorometric detector (Eex (275 nm)/ Eem (300 nm)) has been carried out. To effectively extract phenol from water the solid-phase extraction of phenol on a sorbent with a hypercrosslinked polystyrene was used. The extent of phenol extraction was about 95-100% at the use of 50% acetonitrile at different phenol concentrations and types of water. To effectively extraction of phenol from bottom sediments the method of sample preparation with the use of 25% acetonitrile under the action of ultrasound.

В докладе представлены исследования, связанные с разработкой способов извлечения фенола из воды и донных отложений и определе-

ния его методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с использованием флуориметрического детектора.

Фенол ( $C_6H_5OH$ ) является широко распространенным экотоксикантом и входит в перечень приоритетных загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды. Образование фенолов обусловлено как природными процессами, связанными с биохимическим синтезом, метаболизмом водных организмов и трансформацией органического вещества, так и антропогенным происхождением.

Предельно-допустимая концентрация (ПДК) фенола в воде водных объектов рыбохозяйственного значения, а также хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования составляет  $0,001 \text{ мг/дм}^3$ . Содержание фенола в донных отложениях в настоящее время российскими нормативными документами не регламентируется.

Актуальность исследований по определению фенола и его производных в воде и донных отложениях обусловлена с одной стороны широкой распространенностью и токсичностью, с другой стороны, отсутствием эффективных способов анализа.

В настоящее время существует большое число методов, используемых для определения фенола, которые различаются между собой по чувствительности, селективности, трудоемкости и требуемой аппаратуре. Титриметрические и фотометрические методы анализа фенола недостаточно специфичны и чувствительны и их использование не позволяет количественно определять индивидуальные фенолы. При решении многих аналитических и природоохранных задач требуется установить концентрацию конкретного фенола, а не суммарного содержания фенолов. Из современных методов фенолы чаще всего определяют методом газовой хроматографии с предварительной дериватизацией или более удобным для полярных соединений методом ВЭЖХ. Фенол способен флуоресцировать при возбуждении УФ-излучением, поэтому для его определения возможно использование флуориметрического детектора с высокой чувствительностью и селективностью.

Несмотря на высокую чувствительность хроматографических методов анализа требуется проведение предварительной пробоподготовки воды, предусматривающей концентрирование экстракционными или сорбционными методами. Концентрирование незамещенного фенола представляет достаточно сложную задачу из-за его высокой гидрофильности и низких значений коэффициентов распределения при экстракционном концентрировании органическими растворителями. Пробоподготовка с применением экстракционного концентрирования фенолов имеет

следующие недостатки: трудоемкость, низкая воспроизводимость данных и потери при упаривании экстрактов.

Применение твердофазной экстракции (ТФЭ) или динамической сорбции позволяет обрабатывать пробы большого объема воды с использованием сравнительно малых количеств сорбента, что в свою очередь требует меньшего расхода растворителей для последующей десорбции сконцентрированных соединений.

Наиболее универсальным и селективным этапом пробоподготовки донных отложений, позволяющим осуществлять выделение и при необходимости концентрирование, является проведение экстракции образцов.

Для определения фенола методом ВЭЖХ проведена оптимизация скорости потока, состава фазы и детектирования путём сравнения и подбора различных длин волн возбуждения и излучения ( $E_{ex}/E_{em}$ , нм) с применением программного обеспечения «LC Solution». Следует отметить, что с использованием условий флуориметрического детектора ( $E_{ex}(275 \text{ нм})/E_{em}(300 \text{ нм})$ ) можно определять также метилированные производные фенола, такие как крезолы и ксиленолы.

В ходе работы по твердофазной экстракции фенола из воды были изучены условия сорбции и десорбции разных концентраций (0,2; 1,0 и 5,0 мкг/л; по 3 параллельных эксперимента) фенола с помощью сверхсшитого полистирола (ССПС), определены оптимальные элюенты и условия элюирования. При подборе условий ТФЭ было изучено влияние на сорбцию и десорбцию фенола способа активации картриджей, добавки кислоты и элюента для извлечения фенола.

В экспериментах по извлечению фенола из донных отложений были изучены условия экстракции разных концентраций (10 нг/г, 50 нг/г, 250 и 2000 нг/г) добавленного фенола. Оптимизированы основные параметры подготовки проб: выбраны масса образца, экстрагент и его объём, время извлечения, природа и количества сорбентов. При определении фенола в холостых пробах выявлено мешающее влияние различных добавок (высаливателей, буферов и сорбентов) на его содержание. Для апробации извлечения фенола из воды и донных отложений использовали реальные образцы оз. Байкал, Баренцева и Черного морей.

*Аппаратура.* Для идентификации и количественного определения фенола использовали метод ВЭЖХ с флуориметрическим детектором «RF-20A» ( $E_{ex}(275 \text{ нм})/E_{em}(300 \text{ нм})$ ) и детектором на диодной матрице «SPD-M20A» (230 и 270 нм). Хроматографический анализ проводили на хроматографе «LC-20 Prominence» (Shimadzu, Япония). Для разделения веществ применяли обращенно-фазовую колонку Envirosep PP (125×3,2

мм, 5 мкм) и защитным картриджем С18 (4×2 мм) производства фирмы Phenomenex (США), в условиях изократического элюирования смесью ацетонитрила (для ВЭЖХ, «Компонент-Реактив») и 0,1% раствора фосфорной кислоты (20 % ацетонитрила по объёму), при скорости потока 0,5 мл/мин и температуре колонки 40 °С. Объем вводимой аликвоты – 20 мкл. Время удерживания фенола в этих условиях составляет 3,1 мин.

В качестве стандарта использовали индивидуальный раствор фенола в метаноле (500 мкг/мл) от фирмы Supelco, с содержанием основного компонента 99,9%.

*Пробоподготовка воды.* Выделение фенола из разных проб воды проводили в динамическом режиме с помощью ТФЭ на полипропиленовых картриджах (объем – 1 мл, Supelco) с гидрофобным сорбентом на основе сверхсшитого полистирола (ССПС, 100 мг, размер частиц 50-100 мкм) и использования вакуумного манифолда VacMaster-10. Активацию и очистку картриджа проводили 2 мл ацетона, с последующей промывкой 1 мл бидистиллированной воды. Анализируемый образец воды (100 мл) с добавлением 1 мл ацетонитрила и 0,1 мл соляной кислоты пропускали через картридж со скоростью около 2,5-3 мл/мин. Элюирование фенола с сорбента проводили 50% раствором ацетонитрила (2×1 мл), элюат разбавляли в два раза бидистиллированной водой и вводили аликвоту в хроматографическую систему (коэффициент концентрирования – 25). Степень извлечения фенола по методу «введено-найдено» составляла около 95–100% с использованием разных концентраций фенола и типов воды, матричных эффектов не наблюдалось. Относительная погрешность не превышала погрешности определения известными способами. Предел обнаружения фенола с настоящей пробоподготовкой (100 мл воды) составлял около 0,02 мкг/дм<sup>3</sup>, что ниже ПДК в 50 раз.

*Пробоподготовка донных отложений.* Выделение фенола из донных отложений (1–2 г) проводили с использованием 10 мл 25% раствора ацетонитрила в воде под действием ультразвука (5 мин; 25 °С). Аликвоту экстракта после центрифугирования (5 мин; 5000 об/мин) вводили в хроматографическую систему. Степень извлечения фенола по методу «введено-найдено» составляла от 90 до 100%, значительных матричных эффектов не наблюдалось. Относительная погрешность не превышала 30%. Предел обнаружения фенола (отношение сигнал/шум = 3) в пробах донных отложений с учётом навески составил примерно 1 нг/г.

Предлагаемые способы извлечения и определения фенола были успешно апробированы в различных образцах воды и донных отложений акваторий и могут быть использованы в различных химико-аналитических исследованиях, при проведении мониторинга и инженерно-экологических изысканиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Халиков И.С.** Определение фенола в воде с использованием динамической сорбции и метода высокоэффективной жидкостной хроматографии с флуориметрическим детектированием / Халиков И.С., Баранов В.И. // Вода: химия и экология. – 2018. – №10–12. С.146–150.
2. **Халиков И.С.** Определение фенола в донных отложениях Баренцева и Карского морей с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии и флуориметрического детектора / Халиков И.С., Баранов В.И. // Системы контроля окружающей среды. – 2018. – №12(32). – С.65–70.
3. **Казеннов А.Ю., Нерсесов Б.А., Римский-Корсаков Н.А.** Экспедиционные исследования морей Российской Арктики: монография // Казеннов А.Ю., Нерсесов Б.А., Римский-Корсаков Н.А.-М, ФГБНУ «Аналитический центр» Минобрнауки России, 307 С.

УДК 551.465

### АКУСТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ДОННЫХ ОСАДКОВ НА ЗАПАДЕ МОРЯ СКОТИЯ

**Шрейдер А.А.<sup>1</sup>, Сажнева А.Э.<sup>1</sup>, Клюев М.С.<sup>1</sup>, Бреховских А.Л.<sup>1</sup>,  
Евсенко Е.И.<sup>1</sup>, Гринберг О.В.<sup>1</sup>, Ракитин И.Я.<sup>1</sup>, Бохойо Ф.<sup>2</sup>,  
Галиндо-Зальдивар Х.<sup>3</sup>, Руано П.<sup>3</sup>, Мартос Я.<sup>3</sup>, Лобо Ф.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-59-63,  
e-mail: aschr@ocean.ru*

<sup>2</sup> *Институт геологии и минералогии, Мадрид, Испания*

<sup>3</sup> *Гранадаский университет, Гранада, Испания*

<sup>4</sup> *Андалузский Институт наук о Земле, Гранада, Испания*

В статье изучается строение осадочного чехла во впадинах Скан и Яган на западе моря Скотия с помощью параметрического профилографа TOPAS PS 18/40, имеющего разрешение по вертикали менее 0.1мс.

The article studies the structure of the sedimentary cover in the Scan and Yagan basins in the West of the Scotia sea with the help of parametric profilograph TOPAS PS 18/40 having vertical resolution less than 0.1 ms.

Области запада моря Скотия, в том числе впадины Скан и Яган, являются весьма важными для восстановления геологической истории различных этапов формирования дна моря в контексте разрушения американо-антарктического континентального моста [1–3, 5–10].

Изучение строения осадочного чехла во впадинах, которое находится на начальном этапе из-за отсутствия аппаратуры с высоким разрешением, важно для восстановления геологической и климатической истории областей запада моря Скотия. В данном регионе данные глубоководного бурения отсутствуют, поэтому история региона изучалась, в основном, геофизическими методами. В качестве фактического материала в наших исследованиях использовались оригинальные сейсмоакустические данные, полученные испанским научно-исследовательским судном «Гесперидас» с помощью разработанного фирмой Kongsberg (Норвегия) параметрического профилографа TOPAS PS 18/40, имеющего разрешение по вертикали менее 0.1мс (менее первых десятков сантиметров). Данные с таким разрешением по данному региону не имеют аналогов. Эти данные обрабатывались и интерпретировались. В результате удалось выделить в центральной части впадины Скан три приповерхностных слоя осадков. Опубликованные материалы зарубежных коллег по средней скорости седиментации и скорости упругих волн в осадках в близлежащих к району исследований районах позволили оценить мощность и глубину подошвы исследуемых слоев, а также их предположительный возраст. В результате комплексной интерпретации удалось уточнить среднюю скорость седиментации в исследуемом районе. А именно, если принять скорость седиментации 3 см/тыс. лет, то получим возраст границы между первым и вторым слоями равный 120 тыс. лет, возраст границы между вторым и третьим слоями — 190 тыс. лет, и возраст подошвы третьего слоя — 243 тыс. лет относительно возраста дна. При этом возрастные отличия указанных разделов от границ изотопно-кислородных стадий [4,11] существенно меньше, чем при использовании скорости, равной 2.78 см/тыс.лет [6]. Кроме того, удалось также уточнить направление потоков донного течения во впадине Скан и прийти к заключению, что их инициализация произошла не позднее 233 тыс. лет назад. Все они имеют более северо-западное направление, чем считалось ранее в литературе. Полученная в результате исследований с помощью системы TOPAS PS 18/40 информация является первой и используется для формируемого на базе Андалузского Института наук о Земле (Гранада, Испания) банка такого рода данных для моря Скотия, структура и объем которого находятся в процессе становления и развития.

Методические аспекты настоящего исследования прорабатывались в рамках Государственного задания проект № 0149-2019-0005, а результативная часть работы выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту № 17-05-00075 и 19-05-00125.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шрейдер Ал. А., Шрейдер А. А., Сажнева А.Э., Галиндо-Зальдивар Х., Руано П., Мальдонадо А., Маргос-Мартин Я., Лобо Ф. Позднечетвертичная седиментация во впадине Скан (море Скотия) // Физическое и математическое моделирование процессов в геосредах. – М.: ООО «ПРИНТ ПРО», 2016. С. 197–200.
2. Galindo-Zaldivar J., Puga E., Bohoyo F. et al. Magmatism, structure and age o Dove Basin (Antarctica): A key to understanding South Scotia Arc development // Glob. Planet. Change. 2014. V.122. P. 50–69.
3. Hernandez-Molina F. J., Bohoyo F., Naveira Garabato A. et al. The Scan Basin evolution: Oceanographic consequences of the deep connection between the Weddell and Scotia Seas (Antarctica) // U.S. Geological Survey and The National Academies. 2007. P1047-1 – P1047-5.
4. Lisiecki L. E., Raymo M. E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic D18O records // Paleoceanography. 2005. V.20. PA1003. P. 1–17.
5. Lobo F, Hernández-Molina F. J., Bohoyo F. et al. Furrows in the southern Scan Basin, Antarctica: interplay between tectonic and oceanographic influences // Geo-Mar Lett. 2011. V. 31. P. 451–464.
6. Maldonado A., Barnolas A., Bohoyo F. et al. Contourite deposits in the central Scotia Sea: the importance of the Antarctic Circumpolar Current and the Weddell Gyre flows // Palaeogeography, Palaeoecology. 2003. V. 198. P. 187–221.
7. Maldonado A., Barnolas A., Bohoyo F. et al. Miocene to Recent contourite drifts development in northern Weddell Sea (Antarctica) // Glob. Planet. Change. 2005. V. 45. P. 99–129.
8. Maldonado A., Bohoyo F., Galindo-Zaldivar J. et al. Ocean basins near the Scotia-Antarctic plate boundary: Influence of tectonics and paleoceanography on Cenozoic deposits // Mar. Geoph. Res. 2006. V. 27. P. 83–107.
9. Maldonado A., Bohoyo F., Galindo-Zaldivar J et al. A model of oceanic development by ridge jumping: Opening of the Scotia sea // Glob. Planet. Change. 2014. V.122. P. 152–173.
10. Ruano P., Bohoyo F., Galindo – Zaldivar J et al. Mass transport processes in the southern Scotia Sea: evidence of paleoearthquakes // Glob. Planet. Change. 2014. V. 123. P. 374–391.
11. www.lorraine-lisiecki.com/LR04\_MISboundaries.txt. 2016.

## ИССЛЕДОВАНИЯ УЛЬТРААБИССАЛИ МИРОВОГО ОКЕАНА

**Сагалевиц А.М.**

*Институт океанологии им. П.П.Ширшова (ИО РАН),  
Нахимовский пр., 36, 117997, Москва, e-mail: sagalev1@yandex.ru*

В докладе рассматривается техника и методика исследований наименее изученных районов, занимающих всего 2% площади Мирового океана – глубоководных желобов и впадин, глубина которых составляет более 6000 метров. В настоящее время направление исследований ультраабиссали с помощью глубоководных аппаратов различных типов продолжает развиваться весьма активно. Об этом будет рассказано в докладе.

The report examines the techniques and methods of research of the least studied areas, which occupy only 2% of the world's oceans – deep-sea troughs and trenches, the depth of which is more than 6000 meters. At present, the direction of ultra-abyssal research with the help of various types of deep-sea vehicles continues to develop very actively. It will be discussed in the report.

Ультраабиссалью называются районы океана, имеющие глубину более 6000 метров. Главным образом, это глубоководные желоба и впадины. В западной литературе эти районы получили название «хадальных». Это определение дано датским ученым Антоном Брууном, проводившим исследования на судне «Галатей», с борта которого был совершен целый ряд открытий на хадальных глубинах [1]. Если посмотреть на карту распределения глубин на дне Мирового океана, то мы увидим, что желоба и впадины с глубинами более 6000 м занимают всего 2% площади океанского дна [2]. Однако изучены они довольно слабо. Это связано с тем, что их изучение началось лишь во второй половине XX века, когда появились большие океанские суда, оборудованные глубоководными лебедками, с помощью которых можно было отбирать пробы живых организмов, осадков, геологических пород с больших глубин океана. А позднее появились обитаемые и телеуправляемые аппараты, позволяющие проводить изучение глубин океана с высокой достоверностью путем прямых визуальных наблюдений.

На первом этапе наибольший вклад в исследование ультраабиссали внесли исследования, проводившиеся датским судном «Галатя» и советским «Витязь». До их появления основные усилия ученых были направлены на измерения глубин океана и определения районов с максимальными глубинами. В то время ученые даже не предполагали, что на больших глубинах может быть жизнь. Первое измерение глубины в районе самой глубокой точки океана было сделано в 1874 году старым английским судном «Челленджер» – 8184 метра. Это место назвали по имени судна – впадина Челленджер (Challenger deep). Это измерение производилось с помощью лота-груза, опускаемого с борта судна на пеньковом тросе. Следующее более глубокое измерение в том же районе также с помощью лота было сделано в 1899 году японским судном «Неро» (Nero) – 9636 м. В начале XX века были изобретены гидроакустические средства измерения глубины – эхолоты, внедрение которых значительно упростили проведение исследований. Это позволило проводить измерение глубин океана на ходу судна, не делая специальных остановок. В 1951 году уже новый «Челленджер» с помощью эхолота измерил глубину 10865 м. И окончательную точку поставил наш «Витязь», который в 1957 г. в 25-м рейсе измерил глубину 11022 м, которую уже не смогли превысить последующие измерения. Эта глубина во впадине Челленджер и была принята как максимальная глубина Мирового океана.

В течение 50-60 гг. XX века были проведены многочисленные исследования в желобах и впадинах, в результате которых было подтверждено высказывание академика В.И.Вернадского о том, что «жизнь всюдна». В многочисленных траловых ловах в самых глубоких желобах и впадинах было поднято множество животных. В общей сложности с больших глубин (более 6000 м) было поднято 820 видов животных, которые по свидетельству Г.М.Беляева и А. Брууна, отличаются от животных, поднятых с меньших глубин, и поэтому выделены в особую «хадальную» группу [2].

Большой вклад в изучение ультраабиссали был сделан учеными ИО РАН. В Мировом океане имеется 55 районов с глубинами более 6000 м. Научные суда ИО РАН проводили исследования в 33-х из них: «Витязь» работал в 21 районе, «Академик Курчатов» – в 8 районах, «Дмитрий Менделеев» – в 3-х районах и «Академик Мстислав Келдыш» – в 1 районе. Только из глубинных районов Марианского желоба «Витязем» было поднято 24 вида животных, 12 из которых описаны учеными ИО РАН.

23 января 1960 года человек непосредственно «заглянул» в ультраабиссаль. Жак Пикар – швейцарский ученый и Дон Волш – офицер ВМФ США погрузились во впадину Челленджер в батискафе «Триест»

на глубину 10916 м. Несовершенство техники не позволило провести полноценные научные исследования и даже сделать фотографии на предельной глубине, на которой гидронавты провели всего 20 минут. Однако, это был первый опыт, который показал принципиальную возможность погружения человека на максимальную глубину океана. Разумеется, что технический и научный успех погружения зависит от надежности и интеллектуальных возможностей глубоководного аппарата, в котором работают инженеры и ученые. Казалось бы, после первого эксперимента усилия инженеров должны были направляться на совершенствование устройства батискафа и оборудование его научной аппаратурой. Однако между первым историческим погружением 1960 года и следующим прошло 52 года. За это время появилась много технических инноваций, первым из которых было изобретение твердого глубоководного плавучего материала синтактика (1963 г.), что позволило отказаться от бензина, создававшего плавучесть батискафов и требовавшего огромных стальных поплавков, определявших, главным образом, вес и габариты всей конструкции. Внедрение синтактика позволило как минимум на порядок уменьшить весо-габаритные характеристики глубоководных аппаратов. Второй существенной инновацией было внедрение нанoeлектроники, позволившей создать малогабаритные и совершенные измерительные и навигационные приборы и системы обработки получаемых данных.

Глубоководный обитаемый аппарат нового типа был построен кинопродюсером Голливуда Джеймсом Кэмероном [3]. К сожалению, аппарат «Дип Си Челленджер» был одноместным и не позволял проводить широкий спектр научных исследований с погружением ученых. Однако 25 марта 2012 года Дж.Кэмерон погрузился во впадину Челленджер на глубину 10898 метров, проведя на дне около 1,5 часов, после чего всплыл по причине отказа работы гидравлической системы. Практически никаких новых научных данных это погружение не принесло. Однако был построен современный аппарат весом 12 тонн, что было большим шагом вперед по сравнению с батискафами. Необходимо отметить, что Дж.Кэмерон в течение 11 лет работал с глубоководными обитаемыми аппаратами «Мир» (1995–2005 гг.) и совершил в них 51 погружение. С помощью «Миров» он снял х/ф «Титаник», три документальных фильма и сделал прямую передачу с «Титаника» (3800 м) через спутник на Землю. Разумеется, при создании нового аппарата Дж. Кэмерон использовал опыт конструкции «Миров» и своих погружений в них. Однако, «Дип Си Челленджер», совершив одно погружение на максимальную глубину океана, больше не погружался и был передан Вудсхоль-

скому океанографическому Институту, где хранится как символ погружений на максимальные глубины.

В конце XX – начале XXI веков было совершено и несколько погружений на максимальные глубины океана и телеуправляемыми аппаратами. Серию глубоководных погружений сделал японский телеуправляемый аппарат «Kaiko». Он был построен в 1993 году. В 1995 и 1996 гг. он совершил два погружения во впадину Челленджер на глубины 10911 м и 10898 м, соответственно. Никаких научных открытий сделано не было. В 2000 году с помощью «Kaiko» было открыто новое гидротермальное поле на Центральном хребте Индийского океана на глубине 2450 м, были подняты образцы гидротермальных животных, известных ранее. В 2003 году по причине обрыва кабеля «Kaiko» был потерян на глубине около 8000 м. В апреле 2016 года Jamstech ввел в эксплуатацию новый телеуправляемый аппарат «Kaiko 7000». Его использование только начинается. Второй телеуправляемый аппарат на максимальную глубину океана «Nereus» был создан в Вудсхольском океанографическом Институте в 2008 году. Этот аппарат мог работать как в телеуправляемом по кабелю, так и в автономном (беспроводном) режимах. Он совершил единственное погружение во впадину Челленджер на глубину 10902 м. В мае 2014 г. «Nereus» был утерян во впадине Кермадек, когда он работал в автономном режиме. По свидетельству разработчиков аппарата «Nereus» причина затопления аппарата может состоять в том, что не выдержали большого давления на глубине керамические шары, создававшие аппарату положительную плавучесть. Однако этот факт может быть установлен точно в случае подъема аппарата на поверхность. Взамен утерянного в Вудсхолле создан новый аппарат «Nereus», подобный первому. В настоящее время он проходит испытания.

В настоящее время продолжается создание обитаемых аппаратов, рассчитанных на максимальную глубину океана. В 2018 г. на канадской фирме «Canadian Oceanic» создан обитаемый аппарат «Triton» (рис. 1), технические данные которого приведены в таблице 1.

Фирма «Canadian Oceanic» основана известным искателем приключений Викторала Висково, побывавшем на обоих полюсах Земли и на Эвересте. Теперь в его планы входит покорение пяти самых глубоких мест во всех пяти океанах. Предстоящая экспедиция, которая начнется в 2019 году называется «Five deers expedition» и предполагает погружения в следующих районах:

- впадина Пуэрто Рико (Атлантика) – 8648 м,
- Южный сэндвич (Южный океан) – 8428 м,
- впадина Ява (Индийский океан) – 7725 м,

- Марианская впадина,
- впадина Деер, (Тихий океан) – 10898 м,
- впадина Моллой (Арктический океан) – 5669 м.

Таблица 1. Технические данные ГОА «Triton»

Страна	Канада
Макс. глубина, м	11000
Экипаж, чел.	2
Обитаемая сфера	Титановый сплав, D = 1,5 м
Сухой вес, т	11,7
Длина, м	4,8
Ширина, м	1,9
Жизнеобеспечение, час	18
Аварийное жизнеобеспечение, час	96
Аккумуляторы	85 kWh
Иллюминаторы	3
Видеокамеры	4
Освещение (внешнее)	10×20000 люмен (светодиоды)



Рис.1. Обитаемый аппарат Triton

Во всех перечисленных районах предполагается проведение широкого комплекса океанологических исследований.

Второй ГОА на максимальную глубину океана создается в настоящее время в Китае на фирме Shanghai Rainbow Fish Ocean Environment Technology Service Co. Ltd., организованной при Шанхайском океанском Университете (рис. 2).

Автор доклада является консультантом по созданию этого аппарата. В настоящее время изготавливается обитаемая сфера в Финляндии по тем же технологиям, по которым изготавливались сферы ГОА «Мир». Также в Финляндии создан насос высокого давления для откачивания водяного балласта. Насос проходит стендовые испытания. Окончание строительства этого аппарата планируется на вторую половину 2020 года. Этот аппарат является частью большого глубоководного комплекса «Передвижная Лаборатория» (рис. 3).

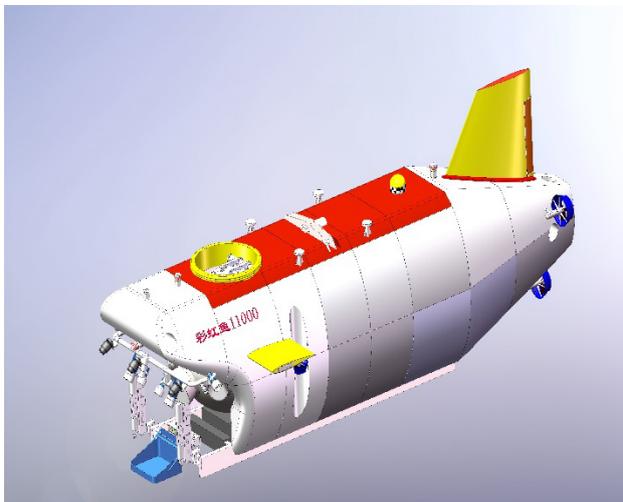


Рис. 2. Модель ГОА, создаваемого китайскими разработчиками

Уже построено судно водоизмещением 4800 тонн. Сейчас ведется насыщение комплекса исследовательским оборудованием. Построен и испытан на максимальную глубину океана телеуправляемый аппарат. В настоящее время отрабатывается его работа в режиме робота (без кабеля). Создаются устройства пробоотбора с борта судна. Созданы и испытаны три лэндера на максимальную глубину океана.

В заключении следует отметить, что в настоящее время развитие исследований ультраабиссали идет по пути создания обитаемых и телеуправляемых аппаратов. Уже определены самые глубокие точки во всех пяти океанах, которые нуждаются в детальном изучении.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (Тема № 0149-2018-0011) Технологии широкого спектра наблюдений в гидросфере на базе подводных робототехнических комплексов, обитаемых аппаратов и систем: разработка подводных аппаратов и роботизированных телеуправляемых платформ с сетевой архитектурой для мониторинга гидросферы, в том числе на предельных глубинах в Мировом океане.



Рис. 3. Глубоководный комплекс «Передвижная Лаборатория»

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Bruun A.F.** Animal life of the deep-sea bottom, 1956 h. The Galathea expedition 1950-1952. L: G.Allen u.Univin Ltd. P. 149–195.
2. **Беляев Г.А.** Глубоководные океанические желоба и их фауна. – М.: Наука, 1989. – 255 с.
3. **Сагалевич А.М.** Глубоководные погружения в Марианскую впадину. – М.: Природа, 2012. № 11. С. 43–50.

## **СТАТИСТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ АЗОВО- ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИИ**

**Подымов И.С., Подымова Т.М.**

*Южное отделение Института океанологии им. П.П. Шириова РАН,  
ул. Просторная, 1Г, 353467, г. Геленджик,  
8(86141)28069, ipodymov@inbox.ru, tpodymova@inbox.ru*

В работе представлены результаты исследований современных движений земной коры и геодинамической активности Азово-Черноморского побережья России и их связь с вариациями радона в атмосфере.

The paper presents the results of investigation for modern earth's crust movements and geodynamic activity of Russia's Azov-Black seacoasts and its causal relationship with the variations of radon in the atmosphere.

Исследование современных движений земной коры и геодинамической активности Азово-Черноморского побережья Краснодарского края и Крымского региона имеет особое значение. Вдоль побережий регионов исследований расположены значимые объекты инфраструктуры: перевалочные терминалы нефти и аммиака, морские порты, транспортный переход через Керченский пролив и т.п. В то же время данный район характеризуется сложной геологической структурой: наличием тектонических структур первого и высших порядков, которые находятся в смешанном взаимодействии [1]. Высокая геодинамическая активность проявляется серией разрывных нарушений, рассекающих Таманский и Керченский полуострова. Имеется значительное количество потенциальных очагов землетрясений, представляющих собой наиболее опасные в сейсмическом отношении участки сейсмогенерирующих геологических структур, которые проявляли себя в прошлом через сейсмические подвижки большой магнитуды. Большие скорости горизонтальных перемещений и вертикальных движений земной коры способствуют возникновению экстремальных ситуаций, вплоть до общего подъема (опускания) земной поверхности. На рис. 1а показана схема разрывных нарушений в регионе по [2], на рис. 1б – схема потенциальных очагов

землетрясений по данным Европейско-Средиземноморского Сейсмологического Центра (ЕССЦ).

В мировой практике, для мониторинга геодинамической активности территорий и создания комплексных систем раннего обнаружения сейсмической опасности, широко используются технологии спутниковых измерений. Аналогичная система прямого измерения деформаций земной коры организована на Азово-Черноморском побережье Краснодарского края. В ее составе 10 стационарных спутниковых геодинамических пунктов (СГП), установленных в сейсмоактивных районах. 6 из этих пунктов находятся: на косе Чушка, в Темрюке, Тамани, Анапе, два СГП – в Геленджике. Эта сеть охватывает фрагмент сейсмоактивной покровно-складчатой зоны Северо-Западного Кавказа и характеризует движение участков Керченско-Таманского периклинального прогиба. Параметры абсолютного перемещения в системе ITRF2008 опорного СГП, установленного в станции Зеленчукская (Карачаево-Черкесии), выбраны в качестве регионального вектора. Абсолютные значения перемещений всех перечисленных СГП в системе ITRF2008 фиксируются непосредственными измерениями в пунктах мониторинга. Локальные сдвиги каждой СГП относительно опорной рассчитываются при обработке полученных данных. Алгоритм исследований по этой схеме и основные критерии выбора опорной станции подробно рассмотрены в [1]. Движение всех пунктов мониторинга согласуется с движением международных станций в Крыму и на Северо-Западном Кавказе.

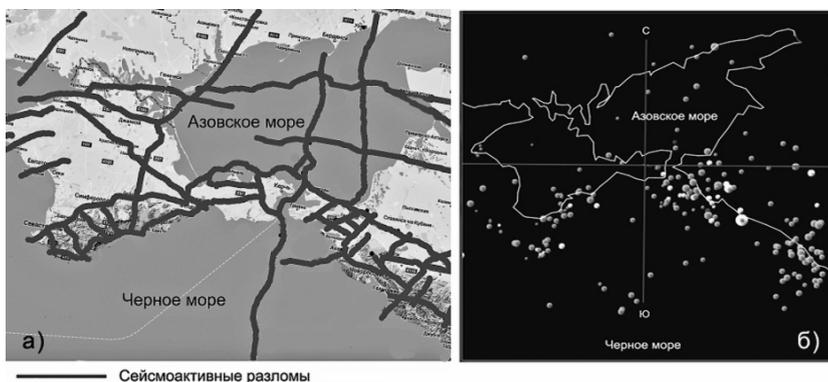


Рис. 1. Схема разрывных нарушений а) и потенциальных очагов землетрясений б) в регионе исследований

С 2011 года Институт океанологии РАН отслеживает экстремальные ситуации, связанные с геодинамической активностью в Крымско-Таманском регионе. А с января 2016 года, в границах активного Маркхотского разлома, осуществляется непрерывный мониторинг флуктуаций объемной активности радона (ОАР) в приземной атмосфере. Подробное описание эксперимента дано в [3]. Как пример, на рис. 2 представлены графики движений СГП Темрюк и вариации ОАР, полученные названными методами.

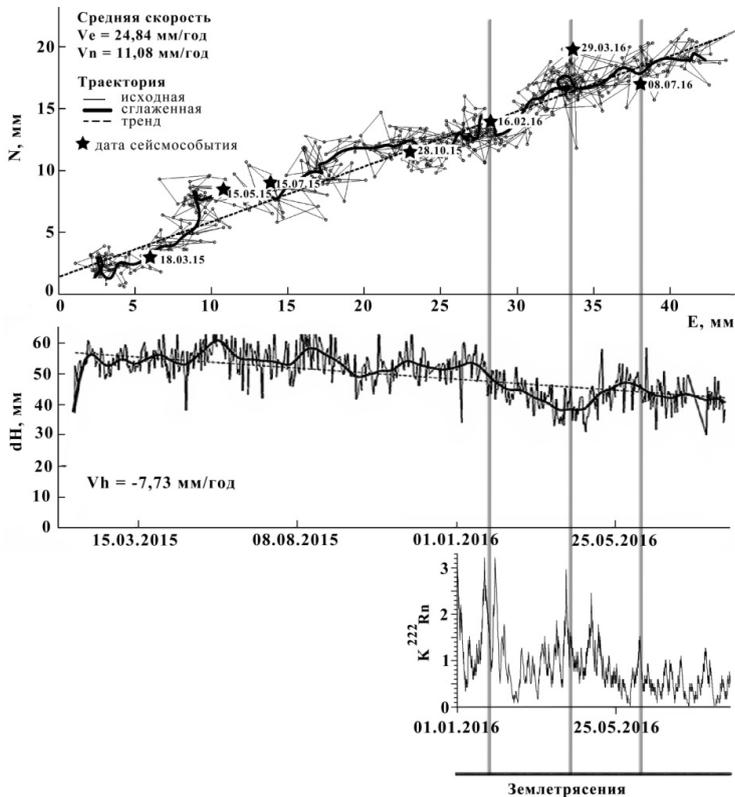


Рис. 2. Горизонтальное и вертикальное движение СГП Темрюк в 2015–2016 гг. в системе ITRF2008.

$E, N, dH$  – смещение СГП в восточном, северном и вертикальном направлениях;  
 $V_e, V_n, V_h$  – средние скорости смещения по тем же направлениям;  $K^{222}\text{Rn}$  – относительные флуктуации радона в пределах Маркхотского разлома

Выбранный метод мониторинга геодинамической активности по флуктуациям радона в приземной атмосфере связан с тем, что на финальной стадии процесса подготовки землетрясения резко увеличивается поток радона из земной коры. Вынос на поверхность радиоактивного радона приводит к активизации процессов в атмосфере, ответственных за появление краткосрочных предвестников землетрясений. Т.е., радон является первичным индикатором начала деформаций земной коры. На рис. 2 видно, что зафиксированным в регионе землетрясениям предшествуют всплески радона.

Разработанный и внедренный авторами метод регистрации флуктуаций ОАР по фиксированию суммарной энергии дочерних короткоживущих продуктов бета-линий распада увеличил скорость фиксирования данных и точность измерений, отфильтровал влияние метеопараметров на результаты измерений.

Кратко резюмируя сказанное можно отметить, что технологии длительных спутниковых измерений позволяют оценить масштабы тектонической активности статистически. Мгновенная же оценка возникающих деформаций земной коры возможна только отслеживанием вариаций ОАР в приземной атмосфере. При появлении аномальных выбросов радона следует тщательно отслеживать показания вторичных индикаторов-предвестников землетрясений.

Исследования выполнены по теме № 0149-2018-0013. Подробно о результатах проводимых исследований предполагается рассказать в докладе конференции.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Бабешко В. А.** Характер движений поверхности земной коры по данным GPS-измерений в районе Азово-Черноморского побережья Российской Федерации / В. А. Бабешко, В. Л. Шестопалов, В. М. Юбко, Е. А. Глазырин // Наука Юга России. 2016. Т. 12. №4. – С. 33–40.

2. **Уломов В. И.** Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации – ОСР-2016 / В. И. Уломов, М. И. Богданов // Инженерные изыскания. 2016. №7. – С. 49–121.

3. **Подымов И. С.** Некоторые результаты долговременного мониторинга объемной активности радона в приземной атмосфере северо-восточного сектора Черного моря / И. С. Подымов, Т. М. Подымова / Современные исследования в сфере естественных, технических и физико-математических наук. – Киров: АНО ДПО МЦИТО. – 2018. – С. 243–256.

## ОБ ИЗУЧЕНИИ СТРУКТУРЫ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ОСАДКОВ НА ОЗЕРЕ СЕННИЦА МЕТОДОМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОФИЛОГРАФА СО СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИЕЙ

**Бреховских А.Л.<sup>1</sup>, Вольтер Е.Р.<sup>2</sup>, Гринберг О.В.<sup>1</sup>, Евсенко Е.И.<sup>1</sup>,  
Захаров Е.В.<sup>3</sup>, Ключев М.С.<sup>1</sup>, Косьян Р.Д.<sup>1</sup>, Куклев С.Б.<sup>1</sup>, Сажнева  
А.Э.<sup>1</sup>, Мазуркевич А.Н.<sup>4</sup>, Ольховский С.В.<sup>5</sup>, Шрейдер А.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН  
117997, г. Москва, Нахимовский пр., д.36,  
тел.+7(495)380-41-50, mkeyuev@mail.ru*

<sup>2</sup>*Институт экологии Академии Наук Абхазии  
Республика Абхазия, г. Сухум, ул. Красномаяцкая, д. 67,  
тел.+7 (940) 921-22-65, ervolter@mail.ru*

<sup>3</sup>*ФГБУК «Государственный Исторический музей»,  
125009, г. Москва, Красная площадь, д.1,  
тел.+7(495) 692-56-60, zakharov.evg@gmail.com*

<sup>4</sup>*ФГБУК «Государственный Эрмитаж»  
190000, г. Санкт-Петербург, Дворцовая набережная, д.34,  
тел.+7(812)7109603, a-mazurkevich@mail.ru*

<sup>5</sup>*Институт Археологии РАН  
117036,г. Москва, ул. Дм. Ульянова, д. 19,  
тел.+7(499)1243690, ptakkon@yandex.ru*

Исследуется структура верхнего слоя донных осадков на озере Сенница в районе устья реки Дубокрайка в районе расположения неолитических поселений с помощью метода параметрического профилографа со спутниковой навигацией.

The structure of the upper layer of bottom sediments on the Sennitsa lake in the area of the mouth of the river Dubokrayka in the area of the Neolithic settlements is studied using the parametric profilograph with satellite navigation.

Район устья реки Дубокрайка на озере Сенница Псковской области известен неолитическими поселениями, которые частично затоплены водами озера. Подводная часть поселений изучена гораздо меньше, чем наземная, поскольку подобные исследования требуют специальных методов и аппаратуры.

Одной из эффективных технологий подводных исследований донных осадков, структур и объектов является метод параметрического профилографа со спутниковой навигацией [1-3]. Суть этой технологии

заключается в профилировании исследуемого участка дна одновременно высокочастотным узколучевым эхолотом и низкочастотным узколучевым параметрическим многочастотным профилографом со спутниковой навигацией при совместной обработке их информации по специальным методикам и алгоритмам согласно выбранным критериям [4-5]. Эта технология была испытана в натуральных исследованиях и подтвердила свою адекватность и эффективность на практике.

Для реализации этой технологии в ИО им. П.П.Ширшова РАН в 2014–2018 гг. был разработан Комплекс гидроакустического параметрического профилографирования и GPS позиционирования антропогенных донных осадков с маломерных судов [1, 3]. Комплекс включает: низкочастотный параметрический донный профилограф и высокочастотный эхолот (на базе прибора SeaKing DST и програм-много обеспечения SeaNet), приемник спутниковой навигации GPS(на базе прибора Trimble BX982), комплекс судовождения (на основе программного обеспечения AquaScan), управляющий компьютер (ноутбук Panasonic CF-31), устройство автономного питания и средства крепления элементов системы на маломерных судах.

Полигон на озере Сенница в устье реки Дубокрайка имел примерно треугольную форму (основание: запад/восток длиной 300 метров, высота: юг/север длиной 400 метров) площадью около 6 гектар с координатами вершин:  $55^{\circ} 49.995'$  с.ш.  $30^{\circ} 21.726'$  в.д. (северная),  $55^{\circ} 49.795'$  с.ш.  $30^{\circ} 21.573'$  в.д. (юго-западная),  $55^{\circ} 49.824'$  с.ш.  $30^{\circ} 21.860'$  в.д. (юго-восточная). Глубины в месте проведения исследований составляли от 0,5 до 1.75 метра. Дно слагалось полужидким илом, под которым располагалась более уплотненное осадочное вещество (илистый песок). Аппаратура позволяла визуализировать структуру дна примерно на 1 метра в его толщу. При проведении исследований было выполнено более 100 продольных и поперечных галсов с их сгущением в центральной части полигона, что обеспечивало шаг пространственной съемки порядка нескольких метров.

Анализ гидроакустических профилей (рис.1) показал, что верхняя часть донных осадков полигона слагается полужидким звукопрозрачным илом толщиной от 0 до 0,5 метра (в среднем 0,25 метра), который имел практически плоскую поверхность с небольшими уклонами и вязко облегал подлежащие формы рельефа.

Под илом располагается уплотненная основа (возможно илистый песок), которая характеризуется холмистыми формами рельефа (до 8 аномалий) размером порядка 5-20 м в поперечнике у основания и высотой около 0,2-0,4 м над основой, 5 из которых своими вершинами возвышаются над илом (рис.2).

Анализ карты выявил 8 аномальных объектов (1-7а,7б на рис.2), который, возможно, являются древними затопленными курганами, или результатом разрушения береговой линии, что следует определить в процессе дальнейших подводных археологических раскопок.

Полученные результаты подтверждают высокие возможности технологии детального исследования донных структур и объектов. Работа выполнена в рамках Проекта Президиума РАН №0149-2018-0026 ПП РАН 1.56 и Проектов РФФИ №19-55-40001, 19-05-00350.

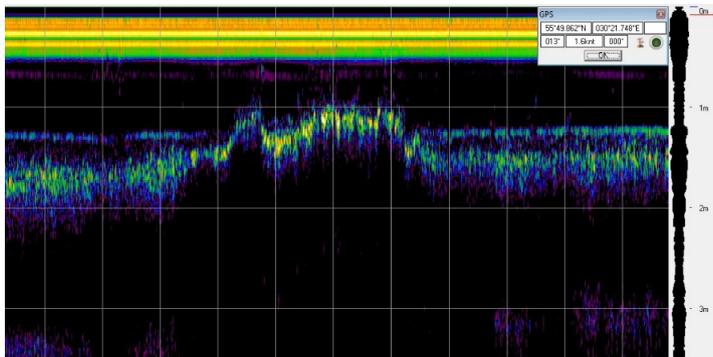


Рис. 1. Гидроакустический разрез в районе одной из аномалий

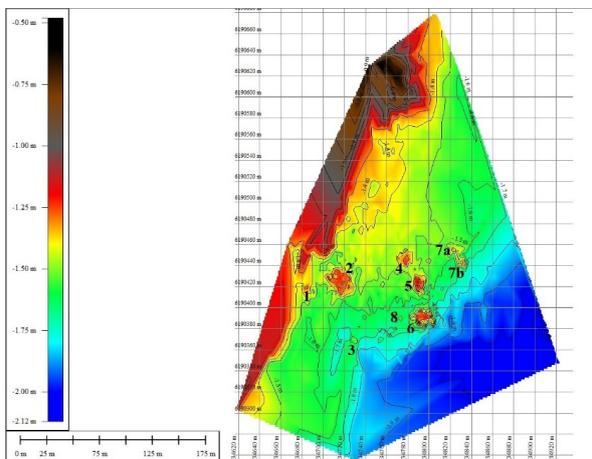


Рис. 2. Карта уплотненной основы и расположения аномалий

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шрейдер Ал.А., Шрейдер А.А., Клюев М.С., Евсенко Е.И. Высокоразрешающая геоакустическая система для геолого-археологического изучения дна // Процессы в геосредах. 2016. № 2. С. 156-161.
2. Шрейдер Ал. А., Шрейдер А. А., Галиндо-Залдивар Ж., Клюев М.С., Евсенко Е.И., Ольховский С.В., Сажнева А.Э., Захаров Е.В., Чижиков В.В., Бреховских А.Л., Ракитин И.Я., Гринберг О.В. Первые данные геолого-археологического изучения патрейского шельфа Таманского залива Черного моря // Процессы в геосредах. 2017. № 2. С. 557–562.
3. 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.
4. Бреховских А.Л., Гринберг О.В., Евсенко Е.И., Клюев М.С., Ольховский С.В., Сажнева А.Э., Шрейдер А.А., Шрейдер Ал.А. О структурах и объектах донного антропоцена в ГИАМЗ «Фанагория» // Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции «МСОИ-2017»: Современные методы и средства океанологических исследований. – М.: АПР, 2017. Т.1. С.251–254.
5. Бреховских А.Л., Гринберг О.В., Евсенко Е.И., Клюев М.С., Ольховский С.В., Ракитин И.Я., Сажнева А.Э., Захаров Е.В., Чижиков В.В., Шрейдер А.А., Шрейдер Ал.А. О структуре развала камней в затопленной части городища Патрей по данным гидроакустического параметрического профилографирования и его геохронология // Физическое и математическое моделирование процессов в геосредах: Третья международная школа молодых ученых, Москва: сборник материалов школы. – М.: ИПМех РАН, 2017. С.58–61.

## ПАЛЕОСТРУКТУРЫ РЕКИ АШАМБА В ГЕОМОРФОЛОГИИ ДНА ГОЛУБОЙ БУХТЫ ПО ДАННЫМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОФИЛОГРАФА СО СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИЕЙ

**Бреховских А.Л.<sup>1</sup>, Вольтер Е.Р.<sup>2</sup>, Гринберг О.В.<sup>1</sup>, Евсенко Е.И.<sup>1</sup>,  
Захаров Е.В.<sup>3</sup>, Ключев М.С.<sup>1</sup>, Косьян Р.Д.<sup>1</sup>, Куклев С.Б.<sup>1</sup>, Сажнева  
А.Э.<sup>1</sup>, Мазуркевич А.Н.<sup>4</sup>, Ольховский С.В.<sup>5</sup>, Шрейдер А.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН  
117997, г. Москва, Нахимовский пр., д.36, тел.+7(495)380-41-50,  
mklyuev@mail.ru*

<sup>2</sup>*Институт экологии Академии Наук Абхазии  
Республика Абхазия, г. Сухум, ул. Красномаяцкая, д. 67,  
тел.+7 (940) 921-22-65, ervolter@mail.ru*

<sup>3</sup>*ФГБУК «Государственный Исторический музей»,  
125009, г. Москва, Красная площадь, д.1,  
тел.+7(495) 692-56-60, zakharov.evg@gmail.com*

<sup>4</sup>*ФГБУК «Государственный Эрмитаж»,  
190000, г. Санкт-Петербург, Дворцовая набережная, д.34,  
тел.+7(812)7109603, a-mazurkevich@mail.ru*

<sup>5</sup>*Институт Археологии РАН  
117036, г. Москва, ул. Дм. Ульянова, д. 19, тел.+7(499)1243690,  
ptakkon@yandex.ru*

Исследуются палео структуры реки Ашамба в геоморфологии дна Голубой бухты по данным параметрического профилографа с использованием спутниковой навигации.

The paleo structures of the Ashamba River in the bottom geomorphology of the Blue Bay is investigated according to a parametric profilograph using satellite navigation.

Голубая (Рыбачья) бухта (рис. 1) является естественным природным прибрежным образованием вблизи г. Геленджик, возникшим под влиянием различных природных факторов, в том числе и в результате формирования устья реки Ашамба, впадающей в бухту.

Естественно предположить, что геоморфология дна Голубой бухты может нести следы воздействия реки Ашамба в периоды древнего понижения уровня моря, когда ее акватория становилась сушей.

С целью поиска палеоструктур реки Ашамба в августе–сентябре 2018 года была исследована геоморфология дна Голубой бухты с помо-

щью разработанного в ИО РАН им. П.П.Ширшова в 2014–2018 гг. Комплекса гидроакустического параметрического профилографирования и GPS позиционирования антропоценовых донных осадков с маломерных судов [2, 4]. Комплекс включает: низкочастотный параметрический донный профилограф и высокочастотный эхолот (на базе прибора SeaKing DST и программного обеспечения SeaNet), приемник спутниковой навигации GPS(на базе прибора Trimble BX982), комплекс судовождения (на основе программного обеспечения AquaScan), управляющий компьютер (ноутбук Panasonic CF-31), устройство автономного питания и средства крепления элементов системы на маломерных судах.

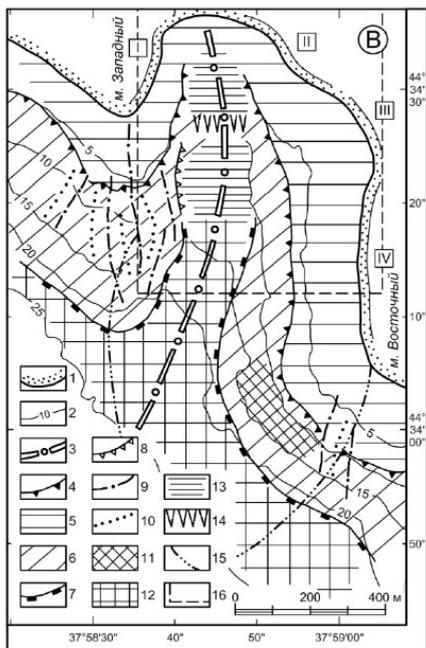


Рис.1. Геоморфологическая карта-схема Голубой бухты [1]

1 – береговая линия; 2 – изобаты; 3 – ось депрессии; 4 – бровка прибрежной ступени; 5 – поверхность прибрежной ступени; 6 – склон депрессии (грабена); 7 – подножие склона; 8 – подножие крутого уступа; 9 – оси гряд; 10 – оси ложбин;

11 – тектонически раздробленная ступень; 12 – погруженная поверхность депрессии; 13 – субгоризонтальные поверхности в верховье депрессии; 14 – уступ, разделяющий субгоризонтальные поверхности; 15 – предполагаемая граница конуса выноса, образованного наводнением; 16 – граница эталонного полигона

Суть технологии работы Комплекса заключается в профилировании исследуемого участка дна одновременно высокочастотным узколучевым эхолотом и низкочастотным узколучевым параметрическим много-частотным профилографом со спутниковой навигацией при совместной обработке их информации по специальным методикам и алгоритмам согласно выбранным критериям [3-6]. Эта технология была испытана в натурных исследованиях и подтвердила свою адекватность и эффективность на практике.

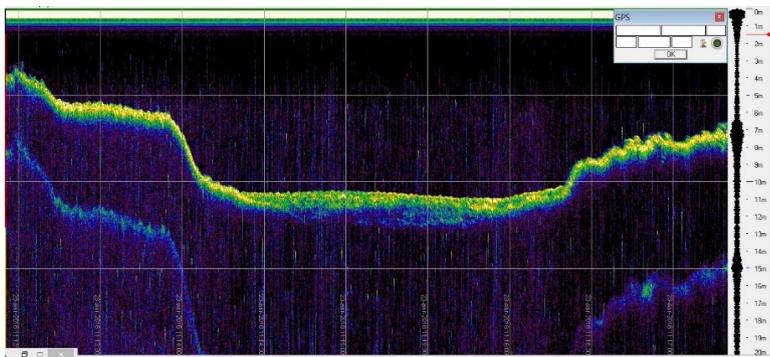


Рис. 2. Поперечный гидроакустический разрез палео русла р. Ашамба

В результате исследований было выполнено около 25 продольных и 20 поперечных галсов гидроакустического профилирования акватории бухты с шагом 40м и 60 м соответственно.

Было обнаружено, что в центральной части бухты, в скальной (мергелевой) донной основе, на глубине около 10-12 метров, располагается вырезанная в мергеле руслообразная структура, шириной около 100 метров, длиной около 300 метров и глубиной около 3-5 метров (Рис.2). Со стороны берега эта структура появляется из-под прибрежного осадочного слоя, состоящего из камней, песка и ила, а со стороны моря заканчивается на прибрежном склоне.

Выявленные особенности позволяют предположить, что рассматриваемая структура является отрезком палео русла реки Ашамба, проделанного ею в мергелевых скалах в период древнего понижения уровня моря до 12 м около 2500 лет назад вовремя фанаторийской регрессии (согласно К.К.Шилику). Отметим, что это предположение нуждается в дальнейших подробных исследованиях и обоснованиях, как в бухте, так и на суше, в т.ч. путем пробоотбора.

Полученные результаты подтверждают высокие возможности технологии детального исследования донных структур и объектов. Работа выполнена в рамках Проекта Президиума РАН №0149-2018-0026 ПП РАН 1.56 и Проектов РФФИ №19-55-40001, 19-05-00350.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Куклев С., Евсюков Ю., Руднев В.** Катастрофическое наводнение в Геленджикском районе. Преобразования рельефа суши и морского дна. Изд-во: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 80 с.

2. **Шрейдер Ал.А., Шрейдер А.А., Клюев М.С., Евсенко Е.И.** Высокоразрешающая геоакустическая система для геолого-археологического изучения дна // Процессы в геосредах. 2016. № 2. С. 156–161.

3. **Шрейдер Ал. А., Шрейдер А. А., Галиндо-Залдивар Ж., Клюев М.С., Евсенко Е.И., Ольховский С.В., Сажнева А.Э., Захаров Е.В., Чижигов В.В., Бреховских А.Л., Ракитин И.Я., Гринберг О.В.** Первые данные геолого-археологического изучения патрейского шельфа Таманского залива Черного моря // Процессы в геосредах. 2017. № 2. С. 557–562.

4. **Шрейдер Ал. А., Шрейдер А. А., Клюев М.С. Сажнева А.Э., Бреховских А.Л., Ольховский С.В., Захаров Е.В., Чижигов 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.

5. **Бреховских А.Л., Гринберг О.В., Евсенко Е.И., Клюев М.С., Ольховский С.В., Сажнева А.Э., Шрейдер А.А., Шрейдер Ал.А.** О структурах и объектах донного антропоцена в ГИАМЗ «Фанагория» // Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции «МСОИ-2017»: Современные методы и средства океанологических исследований. – М.: АПР, 2017. Т.1. С.251–254.

6. **Бреховских А.Л., Гринберг О.В., Евсенко Е.И., Клюев М.С., Ольховский С.В., Ракитин И.Я., Сажнева А.Э., Захаров Е.В., Чижигов В.В., Шрейдер А.А., Шрейдер Ал.А.** О структуре развала камней в затопленной части городища Патрей по данным гидроакустического параметрического профилографирования и его геохронология // Физическое и математическое моделирование процессов в геосредах: Третья международная школа молодых ученых, Москва: сборник материалов школы. – М.: ИПМех РАН, 2017. С.58-61.

**ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ В АЗОВСКОМ МОРЕ В 2018 ГОДУ: АНАЛИЗ СВЯЗАННЫХ С НИМ ФЛУКТУАЦИЙ РАДОНА В АТМОСФЕРЕ И ОЦЕНКА ЭНЕРГИИ КОЛЕБАНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ДОСТИГШИХ КРЫМСКИЙ МОСТ**

**Подымова Т.М., Подымов И.С.**

*Южное отделение Института океанологии им. П.П. Шириова РАН,  
ул. Просторная, 1Г, 353467, г. Геленджик,  
8(86141)28069, tpodymova@inbox.ru, ipodymov@inbox.ru*

15 октября 2018 года в Азовском море произошло самое сильное за последние 30 лет землетрясение. В статье представлены данные об этом событии, о вариациях радона в атмосфере до него, а также дана оценка энергии колебаний земной поверхности, достигших Крымский мост.

October 15, 2018, in the Sea of Azov was the strongest earthquake during the last 30 years. The article presents data on this event, on the variations of radon in atmosphere before it, also an assessment the energy of the earth's surface oscillations, which reached to Crimean Bridge.

В работе представлен фрагмент современных исследований Южного отделения Института океанологии РАН (ЮОИО РАН), связанный с государственным заданием №0149-2018-0013. Подтема программы (№8) обозначена как «Исследования береговых геосистем Черного и Азовского морей, глобальных и региональных факторов их формирования и динамики».

Начало исследованиям стабильности береговых геосистем Черного и Азовского морей было положено в 2011 году, после неординарных деформаций земной поверхности в Таманском регионе [1]. Пятилетний многопараметрический мониторинг прибрежной зоны региона позволили выявить ряд взаимосвязанных индикаторов возникновения экстремальных ситуаций. Первичным и важнейшим индикатором начала деформаций земной коры является концентрация радона в приземной атмосфере. После того, как нами был разработан метод нестандартной регистрации флуктуаций объемной активности радона (ОАР) в приземном воздухе по фиксации суммарной энергии дочерних короткоживущих

продуктов бета-линий распада, были организованы непрерывные мониторинговые наблюдения за радоновыми пульсациями. Измерения начались в январе 2016 года и продолжаются до настоящего времени. Ежечасные показания спектроскопического радиометра заносятся в память компьютера. В случае возникновения экстремальных событий результаты замеров ОАР незамедлительно сопоставляются с ними. Доступ к базе данных землетрясений предоставляет Европейско-Средиземноморский сейсмологический центр (ЕССЦ).

В работе рассмотрен конкретный случай: землетрясение М4.7 в Азовском море 15 октября 2018 года. Эпицентр землетрясения находился в 120 км от Крымского моста. В связи с тем, что существует большое количество «пророков» относительно устойчивости этого сооружения, мы решили оценить энергию сейсмических колебаний от землетрясения, оказавшую воздействие на мост. Также в работе представлен график относительных флуктуаций ОАР в приземном воздухе за 40-дневный период, предшествующий землетрясению.

На рис. 1 показано место землетрясения, Керченский и Таманский полуостров. Данные для рисунка получены от ЕССЦ.



Рис. 1. Местоположение землетрясения М4.7 (звездочка) относительно Крымского моста

Сейсмическая энергия землетрясения в эпицентре рассчитывается по формуле [2]:

$$E = 10^{(1.5M + 4.8)},$$

где  $E$  – энергия в джоулях;  $M$  – сила землетрясения, магнитуд. Для оценки энергии землетрясения в килотоннах, необходимо энергию в джоулях разделить на число  $4.184 \cdot 10^{12}$ . Амплитуда и энергия сейсмического воздействия землетрясений на удаленные от эпицентра участки Земли рассчитываются по модели Аптикаева [2]. Результаты расчетов для конкретного события приведены в табл. 1.

Интересно посмотреть на вариации концентрации радона в приземной атмосфере за некоторый период, предшествующий землетрясению. На рис. 2 приведены два графика флуктуаций радона относительно среднего значения за 3-х летний период мониторинга.

Таблица 1. Параметры сейсмической энергии в эпицентре землетрясения и в зоне Крымского моста

Место события	Магнитуда	Е, Дж	Е, кт
Эпицентр	4.7	$7.08 \cdot 10^{11}$	0.169216
Крымский мост	4.5	$3.5 \cdot 10^{11}$	0.0848

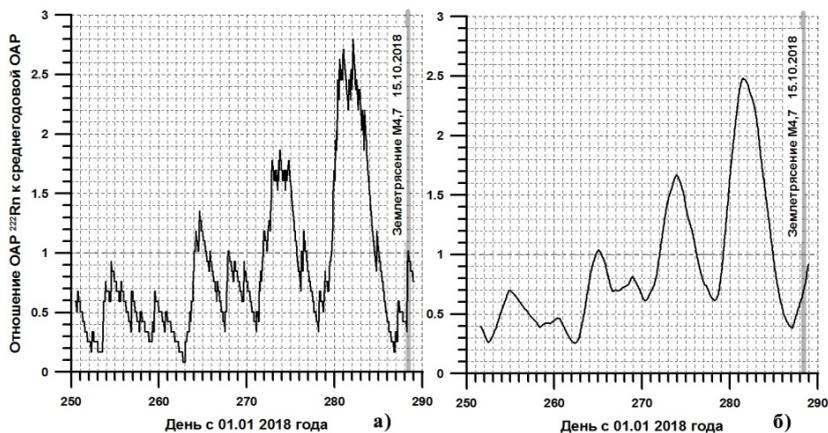


Рис. 2. Графики относительных флуктуаций ОАР в приземной атмосфере за 40-дневный период, предшествующий землетрясению: а) чистые данные измерений; б) отфильтрованы колебания высокой частоты

Фильтр колебаний высокой частоты (рис. 2б) применен для того, чтобы выделить экстремальные значения ОАР. График однозначно иллюстрирует периодичность нарастающей амплитуды колебаний ОАР. Период этот составляет, примерно, 9 суток. Поскольку количество выбрасываемого радона связано с деформациями земной коры можно сделать заключение, что график отражает не только колебания ОАР в атмосфере, но и колебания земной коры. Представленный процесс очень похож на зарождение резонансных колебаний большого масштаба, финалом которых стало превышение предела прочности пород и срыв крыльев сейсмогенного разлома. Через 6 дней после последнего всплеска радона произошло землетрясение.

В итоге можно сказать, что мост выдержал воздействие энергии от «взрыва» 85 тонн тротила. Каких-либо заметных деформаций с конструкцией не произошло.

О флуктуациях радона. Выбросы радона являются первичными индикаторами зарождающегося экстремального события. У нас есть достоверная статистика 3-х летних наблюдений за развивающимися критическими аномалиями. Но для надежного прогноза места и времени будущего землетрясений необходимо проследить развитие процесса подготовки от поверхности Земли (радон в приземном слое) до ионосферы. Помимо радона нужно иметь информацию еще хотя бы об одном (вторичном) индикаторе-предвестнике землетрясений: нужна пространственная динамическая картинка инфракрасного поля выше уровня верхней кромки облаков (на высоте 10-12 км).

Представление дополнительной информации о проводимых исследованиях возможно в докладе конференции.

Исследования выполнены по теме № 0149-2018-0013 «Морские природные системы Черного и Азовского морей: эволюция и современная динамика гидрофизических, гидрохимических, биологических, береговых и литодинамических процессов».

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Podymov I. S.** Anomalous Natural Phenomenon at the Coastal Zone of Azov Sea / I. S. Podymov, T. M. Podymova / Global Congress on ICM. Proceedings of EMECS 10 – Medcoast 2013 Joint Conference. – Turkey, Ankara: Bizim Dijital Matbaa. – 2013. Vol. 1. – P. 655–664.

2. **Аптикаев Ф. Ф.** Инструментальная шкала сейсмической интенсивности. – М.: Наука и образование. – 2012. – 176 с.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗАГЛУШЕННЫХ ПОДВОДНЫХ СКВАЖИН**

**Дмитревский Н.Н.<sup>1</sup>, Ананьев Р.А.<sup>1</sup>, Мелузов А.А.<sup>1</sup>,  
Шабалин Н.В.<sup>2</sup>, Ремизова Д.М.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт океанологии им. П.П.Шириова РАН, Москва, corer@mail.ru*  
<sup>2</sup>*ООО «Центр морских исследований» МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, info@marine-rc.ru*

В докладе рассматриваются результаты акустического зондирования морского дна в районах расположения заглушенных подводных скважин в шельфовой зоне морей и океанов с целью их обнаружения. Обсуждаются возможности использования гидроакустической аппаратуры для обнаружения и идентификации указанных объектов.

The report deals with the results of acoustic sounding of the seabed in the areas of location of submerged wells in the offshore zone of the seas and oceans in order to detect them. The possibilities of using different types of high-resolution hydroacoustic equipment for the most efficient detection, identification and mapping of these objects are discussed.

В последние десятилетия в нашей стране в широком объеме проводятся морские изыскания, направленные на разведку и поиск перспективных нефтяных и газовых месторождений в шельфовых зонах прилегающих морей и океанов. При этом многие разведочные скважины не подтверждают наличия месторождений с достаточными эксплуатационными параметрами, и перед изыскателями встает вопрос о дальнейшей судьбе таких скважин с точки зрения минимизации их вредного воздействия на окружающую среду. Наиболее эффективным и распространенным методом обеспечения безопасности таких скважин является заливка внутреннего ствола скважины и околоскважинного пространства специальными цементирующими растворами, обеспечивающими достаточную степень герметизации.

В последнее время были приняты нормативные документы [1] о необходимости проведения периодического мониторинга заглушенных скважин на предмет определения возможного «высачивания» из них

углеводородов. С учетом того, что не все пробуренные в процессе разведки скважины документировались надлежащим образом, вопрос поиска и определения координат ранее заглушенных скважин приобретает самостоятельное значение.

Обнаружение законсервированных и, во многих случаях, погребенных под слоем осадков устьев скважин гидроакустическими методами возможно по ряду классификационных признаков. Наиболее очевидными из них являются отчетливо выраженные на дне следы проведения бурения и консервации скважины. Эффективным методом обнаружения такого рода классификационных признаков является высокочастотная гидролокация бокового обзора [2]. Использование гидролокаторов бокового обзора (ГБО) возможно в двух основных режимах: буксировка на кабеле за судном или жесткая установка рабочего тела гидролокатора непосредственно на судне-носителе. Каждый из указанных методов имеет свои преимущества и недостатки, их использование обуславливается конкретными условиями проведения исследований

Следует иметь в виду, что в условиях малых глубин на шельфе гидродинамические процессы могут активно воздействовать на дно акваторий, способствуя развитию аккумулятивных и эрозионных процессов и миграции русловых наносов [3]. При этом в ряде случаев всего за несколько месяцев может существенно изменяться рельеф поверхности дна, а большинство механических признаков наличия устья скважины просто оказываются погребенными под слоем осадков. Практика показывает, что при этом часто имеет место локальное изменение глубины в районе выхода скважины в виде углубления (кратера) или небольшого холма, образовавшиеся при заносе устья скважины осадками. В этом случае эффективным оказывается использование высокочастотных многолучевых эхолотов (МЛЭ), а также узколучевых параметрических эхолотов-профилографов, регистрирующих локальное нарушение структуры поддонного слоя осадков, образовавшееся в процессе проведения бурения. Различные по природе и происхождению классификационные признаки почти всегда требуют комплексирования различных методов исследований и соответственно раздельного или совместного использования разной гидроакустической аппаратуры с целью достижения наиболее эффективных результатов.

Авторами накоплен большой опыт проведения подобного рода работ, на результатах которого мы ниже остановимся. При работах использовалась следующая аппаратура:

– гидролокатор бокового обзора ДГБО «Гидра 250/500» производства НИИ им. Тихомирова, Россия;

- многолучевой эхолот WASSP WMB-3250 производства WASSP Limited, Новая Зеландия;
- однолучевой эхолот-профилограф SES-2000 Standard производства немецкой фирмы «Innomar Technologie GmbH».

Подробные технические параметры всех использовавшихся приборов приведены в работе [4]. Следует отметить, что при всей очевидной эффективности гидроакустических методов поиска подводных объектов они практически никогда не позволяют точно установить физическую природу исследуемых объектов. Единственным надежным классификационным признаком разыскиваемого объекта является его геометрическая форма. Однако в используемом диапазоне частот идентификация предмета по его форме возможна практически в двух случаях: мы точно знаем, что мы ищем, а разыскиваемый предмет имеет достаточно большие размеры (пять, шесть метров и более), и форма его характерна и узнаваема (затонувшее судно или самолет, лежащий на дне якорь и т.п.). Во всех остальных случаях отличить металлический предмет от деревянного, сферический от кубического, естественный от искусственного представляется весьма затруднительным, а зачастую и невозможным. Поэтому заключительная идентификация обнаруженных гидроакустическими методами объектов путем их обследования водолазами или подводными аппаратами является абсолютно необходимым элементом поисковых работ.

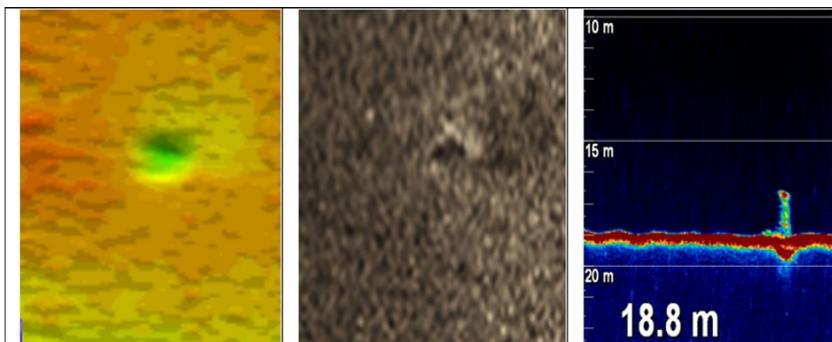


Рис. 1. Изображение, полученное МЛЭ (слева), ГБО (в центре) и однолучевым эхолотом (справа), торчащей из дна обсадной трубы заглушенной скважины

Пример на рис. 1 иллюстрирует возможности гидроакустических методов для обнаружения и окончательной идентификации подводных объектов. Приведены изображения подводного объекта, полученные с помощью МЛЭ (слева) и ГБО (в центре). Идентификация указанного объекта с помощью водолазного обследования показала, что он является торчащей из дна обсадной трубой заглушенной скважины. Последующий проход судна точно над обнаруженным объектом позволил получить изображение обсадной трубы с помощью высокочастотного однолучевого эхолота (на рис. 1 справа).

Несмотря на ряд ограничений и трудностей, использование высоко разрешающей гидроакустики является в настоящее время весьма эффективным методом, позволяющим решать поставленные задачи со вполне приемлемой для практических задач точностью.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0005).

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Приказ Ростехнадзора от 12.03.2013 № 101 "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2017).

2. **Колесниченко В. В., Митько В. Б.** Гидрофизический мониторинг мелководных районов в целях обеспечения экологической безопасности // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2009. Т. 95. № 6. С. 61-65.

3. **Камалов А.М., Огородов С.А., Бирюков В.Ю., Совершаева Г.Д., Цвезинский А.С., Архипов В.В., Белова Н.Г., Носков А.И., Солломатин В.И.** Морфолитодинамика берегов и дна Байдарацкой губы на трассе перехода магистральными газопроводами // Криосфера Земли. 2006. Т. 10. № 3. С. 3–14.

4. **Дмитревский Н.Н., Ананьев Р.А., Либина Н.В., Росляков А.Г.** Сейсмоакустические исследования верхней осадочной толщи и рельефа морского дна в морях восточной Арктики в 57-м рейсе НИС «Академик Лаврентьев» // Океанология. 2012. Т. 52. № 4. С. 617–620.

## ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В МАКРОФИТАХ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Халиков И.С.<sup>1</sup>, Лукьянова Н.Н.<sup>1</sup>, Пронин А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «НПО «Тайфун», 249038, г. Обнинск, ул. Победы, 4  
(484)3971884, khalikov@rpatyphoon.ru

<sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Москва,  
pronin@ocean.ru

В докладе приводятся результаты измерений бенз(а) пирена и ПАУ в макрофитах озера Байкал на 2017–2018 гг. Результаты получены методом ВЭЖХ.

The report gives the results of 2017-2018 measurements of benz(a)pyrene and PAH in the macrophytes of the Baikal Lake with the use of the HPLC method.

Чистота вод озера Байкал и состояние различных элементов его экосистемы привлекает большое внимание российской и мировой общественности. Важной задачей комплексного мониторинга оз. Байкал является контроль содержания приоритетных загрязняющих веществ в разных объектах природной среды в районах сильного антропогенного воздействия. Такими районами является зона воздействия в южной части озера бывшего Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК), функционировавшего без перерывов с 1966 по 2009 г. и закрытого в конце 2013 г., и зона воздействия на севере озера вдоль трассы Байкало-Амурской магистрали (БАМ).

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) представляют опасность для экосистем с точки зрения их содержания, устойчивости к химической и биологической трансформации, аккумуляции в объектах природной среды, повсеместного распространения и токсикологических характеристик [1].

В последние годы во многих районах Байкала происходит интенсивное зарастание дна, практически по всему периметру озера на глубинах 0–1 м выявлено увеличение биомассы характерных видов водорослей, а также других, ранее в таких масштабах не регистрируемых [2, 3].

В настоящем сообщении представлены результаты определения (2017–2018 гг.) содержания ПАУ в макрофитах (смеси зеленых водорослей *Ulotrix*, *Tetraspora*, *Spirogyra* и др.), ведущих прикрепленный образ

жизни на гравийно-галечном субстрате прибрежной мелководной зоны озера Байкал.

Материалом для исследований являлись 24 пробы смеси макрофитов прибрежной части оз. Байкал, которые отбирались ФГБУ «Иркутское УГМС» в августе–сентябре 2017–2018 гг. Картограмма мест отбора проб приведена на рис. 1.

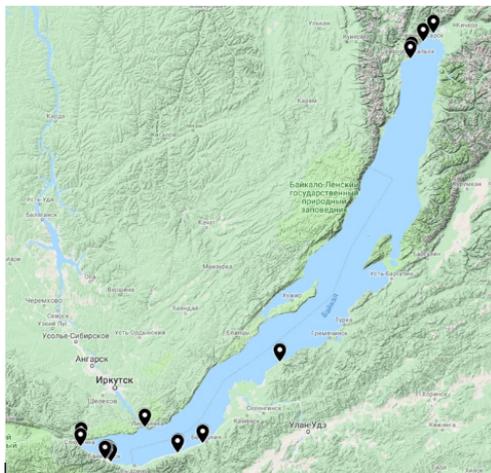


Рис. 1. Картограмма мест отбора проб макрофитов в оз. Байкал, 2017–2018 гг.

Для идентификации и количественного определения индивидуальных ПАУ использовали метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с флуориметрическим детектированием (детектор «RF-20A», хроматограф «LC-20 Prominence» (Shimadzu)) после предварительного выделения и очистки (пробоподготовка QuEChERS).

В пробах макрофитов были количественно определены методом ВЭЖХ в порядке выхода на хроматограммах следующие индивидуальные ПАУ (рис. 2) – нафталин (NAPH), аценафтен (ACNF), флуорен (FL), фенантрен (PHEN), антрацен (ANTR), флуорантен (FLT), пирен (PYR), бенз(а)антрацен (BaA), хризен (CHR), бенз(б)флуорантен (BbF), бенз(к)флуорантен (BkF), бенз(а)пирена (BaP), дибенз(а, h)антрацен (DBaAh), бенз(г, h, i)перилен (BPL) и инден[1, 2, 3-с, d]пирен (INP). Следует отметить, что содержание ACNF и DBaAh практически во всех пробах было ниже предела определения метода (0,5 нг/г).

- Результаты по среднему содержанию бенз(а)пирена и суммы ПАУ, а также интервалам их значений в макрофитах обследуемых районов приведены в табл. 1. По результатам обследования в 2017 г. максимальное содержание бенз(а)пирена (12,9 нг/г) и суммы ПАУ (142,2 нг/г) в макрофитах зафиксировано в районе бывшего БЦБК, а в 2018 г. у южной оконечности Байкала (пос. Култук) – BaP (8,3 нг/г) и ПАУ (112,0 нг/г).

При сравнении накопления ПАУ в макрофитах южного Байкала и северного Байкала в 2017 г. видно, что концентрация суммы ПАУ в районе БАМ была несколько выше, в то же время среднее содержание бенз(а)пирена в районе БЦБК было в 1,7 раза выше, чем в северной части озера. Рост содержания суммы ПАУ в районе БАМ обусловлен более высокими концентрациями низкомолекулярных ПАУ (рис.2).

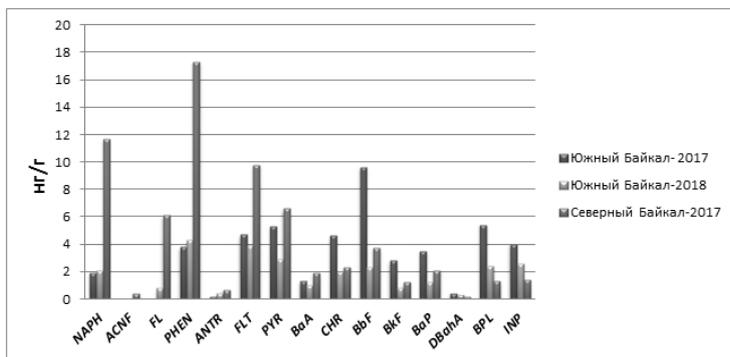


Рис.2. Профиль среднего содержания ПАУ в макрофитах южного Байкала (2017 и 2018 гг.) и северного Байкала (2017 г.)

По результатам обследования в 2018 г. макрофитов южного Байкала показано снижение содержания бенз(а)пирена и некоторых других высокомолекулярных ПАУ примерно в 3 раза по сравнению с 2017 г.. Несмотря на высокое содержание суммы ПАУ в макрофитах центрального Байкала (с. Сухая), которое вызвано, в основном, низкомолекулярными ПАУ, количество бенз(а)пирена и других высокомолекулярных ПАУ оказалось значительно ниже районов сильного антропогенного влияния (БЦБК и БАМ).

Средний процент содержания бенз(а)пирена от суммы 15 идентифицируемых ПАУ в макрофитах южного Байкала был в несколько раз выше, чем в районе БАМ и, особенно, места отбора (с. Сухая) в центральном Байкале.

Таблица 1. Среднее содержание бенз(а)пирена и суммы ПАУ в макрофитах оз. Байкал (2017–2018 гг.)

Район наблюдения, количество проб (n)	Среднее содержание ВаР, интервал, нг/г	Среднее содержание суммы ПАУ, интервал, нг/г	Доля ВаР от суммы ПАУ, %
Южный Байкал, 2017 г., n=8	3,5 (0,9–12,9)	47,5 (15,2–142,2)	7,4
Южный Байкал, 2018 г., n=11	1,2 (0,1–8,3)	26,8 (6,3–112,0)	4,5
Северный Байкал, 2017 г., n=4	2,1 (0,1–5,5)	65,9 (19,3–145,0)	3,2
Центральный Байкал, 2018 г., n=1	0,6	90,0	0,7

Изучение профиля хроматограмм и молекулярных соотношений [1] показало, что ПАУ в водорослях южного Байкала имеют в основном пирогенное происхождение, а в районе БАМ и Центрального Байкала присутствуют ПАУ как пирогенного, так и петрогенного происхождения.

Полученные результаты могут свидетельствовать как о разных качественных и количественных составах ПАУ, поступаемых с селитебных территорий, так и, возможно, неодинаковой способностью водорослей разного вида накапливать полиарены. Необходимо проведение регулярных наблюдений за состоянием и загрязнением экосистемы озера и оценка изменений ПАУ, происходящих в макрофитах и исследование разнородных водорослей к аккумуляции полиаренов.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Халиков И.С.** Идентификация источников загрязнения объектов природной среды полициклическими ароматическими углеводородами с использованием молекулярных соотношений // Экологическая химия. – 2018. – Т.27. – №2. – С. 76–85.

2. **Кравцова Л.С.** Нарушение вертикальной зональности зеленых водорослей в прибрежной части залива Лиственничный озера Байкал/. Кравцова Л.С., Ижболдина Л.А., Ханаев И.В., Помазкина Г.В., Домышева В.М., Кравченко О.С., Грачев М.А. // Докл. РАН. – 2012. – Т. 447. – № 2. – С. 227–229.

3. **Тимошкин О.А.** Массовое развитие зеленых нитчатых водорослей родов *Spirogyra* Link и *Stigeoclonium* Ktz (Chlorophyta) в прибрежной зоне Южного Байкала / Тимошкин О.А., Бондаренко Н.А., Волкова Е.А., Томберг И.В., Вишняков В.С., Мельник В.В. // Гидробиологический журнал. – 2014. – Т.10. – № 5. – С.15–26.

## ЛАБОРАТОРНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ПРОЗРАЧНОСТИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

**Артемьев В.А., Таскаев В.Р.**

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

Представлен портативный прозрачномер для лабораторных измерений концентрации взвешенного вещества в водных растворах.

A portable transparency meter for laboratory measurements of suspended matter concentration in aqueous solutions is presented.

В 2004 году, при проведении экспериментов с плотностными течениями в лаборатории экспериментальной физики океана ИО РАН, возникла необходимость измерений концентрации взвешенного вещества в лабораторном бассейне. Учитывая надежную корреляционную зависимость между взвесью и показателем ослабления (прозрачностью), в лаборатории оптики океана ИО РАН был разработан портативный лабораторный прозрачномер. Особые требования к точности и стабильности не выдвигались – эксперименты проводились при постоянной температуре, абсолютные значения прозрачности не требовались, главная задача – регистрация относительных изменений прозрачности в процессе конкретного эксперимента. При этом прибор должен быть компактным и позволял легко изменять схему эксперимента – излучатель и приемник могли устанавливаться в различных частях бассейна.

Выбор был сделан в пользу одноканальной оптической схемы, на основании которой был разработан прибор, блок-схема которого приведена на рис. 1. Прибор состоит из 3 узлов: излучателя, приемника и пульта. Излучатель и приемник смонтированы в цилиндрических пластиковых корпусах, которые соединены с пультом гибкими многожильными кабелями. Принцип работы основан на относительном измерении интенсивности выходного сигнала при прохождении через слои различной мутности в бассейне. Прибор работает в импульсном режиме, что позволяет непрерывно стабилизировать нулевой сигнал. Основные электронные компоненты, ответственные за точность измерений: ИПФ, МОУ, ИОН, УВХ, ИОУ и ФНЧ + МОУ производства фирмы Burt-Brown.

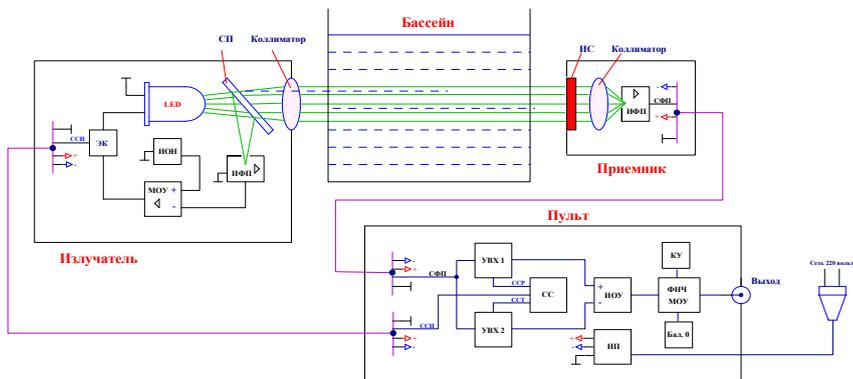


Рис. 1. Блок-схема лабораторного прозрачнoмера

**Излучатель.** Источником света является зеленый светодиод высокой яркости (LED), интенсивность излучения которого поддерживается схемой стабилизации потока, в которую входят: ИФП – интегральный фотодиод, смонтированный на одном кристалле с операционным усилителем, МОУ – мощный операционный усилитель и ИОН – прецизионный источник опорного напряжения. Часть потока излучения LED отводится стеклянной пластиной (СП) на вход ИФП, сигнал с которого поступает на вход МОУ. На второй вход МОУ, поступает опорное напряжение с ИОН, которое задает и поддерживает уровень светового потока на постоянном уровне. ЭК – электронный ключ отключает LED по сигналу со схемы синхронизации СС, расположенной в пульте. После СП, световой поток LED попадает на коллиматор – линзу и на выходе излучателя формируется квазипараллельный пучок, который поступает в исследуемый объем.

**Приемник.** После прохождения исследуемого объема, световой поток попадает на вход приемника, на интерференционный светофильтр с полосой пропускания  $\leq 20$  нм, что позволяет существенно снизить сигнал внешней засветки. После коллиматора, поток попадает на вход ИФП, аналогичный, установленному в излучателе. С выхода приемника импульсный сигнал, пропорциональный принятому световому потоку, поступает в пульт.

**Пульт.** СС – схема синхронизации формирует импульсы управления, позволяющие реализовать алгоритм обработки сигналов. СФП – сигнал с фотоприемника поступает одновременно на входы 2 устройств выборки-хранения – УВХ 1 и УВХ 2. При поступлении ССИ – импульса

включения излучателя, LED излучателя загорается, световой поток проходит через исследуемый объем, уровень сигнала с приемника (СФП) по команде синхроимпульса ССР запоминается на УВХ 1 и сохраняется в квазипостоянном виде до прихода следующего импульса. Когда световой поток с излучателя отсутствует, уровень СПФ, по команде синхроимпульса ССТ аналогичным образом запоминается на УВХ-2. Это сигнал подставки, которая состоит из нулевого сдвига ИФП приемника и внешней засветки, и входит в основной сигнал при проведении измерения. Квазипостоянные сигналы с выходов УВХ 1 и 2 поступают на входы ИОУ – инструментального операционного усилителя, где сигнал подставки, вычитается из сигнала измерения. Сигналы на выходах устройств выборки-хранения изменяются с тактовой частотой, поэтому привязка основного полезного сигнала к нулевому уровню производится практически после каждого импульса. После ИОУ, измерительный сигнал поступает на ФНЧ – схему фильтра нижних частот, который сглаживает пульсации, и тем самым уменьшает уровень шумов, и МОУ – масштабирующий усилитель, позволяющий изменять уровень выходного сигнала (КУ) и выставлять нулевой уровень на выходе прибора (Бал. 0). Питание прибора осуществляется от сети 220 вольт.

**Монтаж и настройка.** Излучатель и приемник устанавливаются на раме, обеспечивающей их жесткую фиксацию. После установке рамы с излучателем и приемником на бассейне с дистиллированной водой прибор подключается к сети, и, с помощью юстировочных элементов, совмещаются оптические оси излучателя и приемника по максимальному уровню выходного сигнала (рис. 2).



Рис. 2. Слева одна из схем лабораторной установки с прозрачномером: 1 – излучатель, 2 – приемник, 3 – пульт

Для определения толщины плотностного течения, солевой раствор заданной плотности вводится в дистиллированную воду через щелевое отверстие в дне бассейна. Оптическая визуализация достигается подкрашиванием раствора тимоловым синим индикатором. Результаты градуировки прозрачномера приведены на рис. 3.

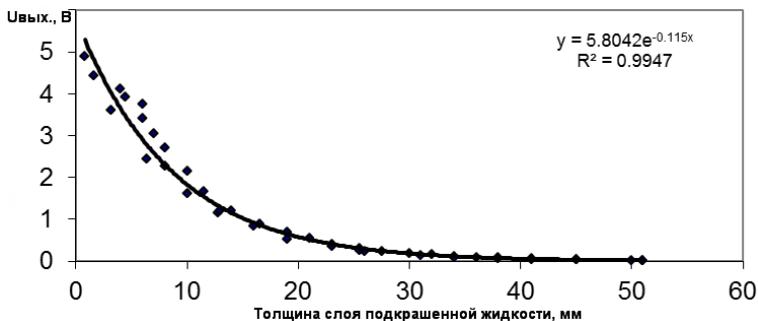


Рис.3. Градуировка прибора: зависимость выходного напряжения прозрачномера от толщины слоя подкрашенной жидкости

Лабораторным прозрачномером за прошедшие годы были проведены многочисленные эксперименты как в режиме стационарной так сканирующей установки на бассейне. Методики и результаты проведенных экспериментов приведены в [1, 2].

Работа выполнена по темам Государственного задания № 0149-2018-0002 и 0149-2019-0003.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Gusev A.V., Liapidevskii V.Yu., Zatsepin A.G., Nizov S.S. **Dynamics of downslope gravity currents in stratified fluid** // Тезисы докладов международной конференции «Потоки и структуры в жидкостях» (Москва, 20-23 июня 2005 г). 2005. Москва, ИПМ. С.37–38.

2. Низов С.С. Плотностное течение на наклонном дне в однородной и двуслойно-стратифицированной жидкости (результаты лабораторного моделирования). // XXII Международная береговая конференция «Проблемы управления и устойчивого развития прибрежной зоны моря» Геленджик, 2007. С. 127–129.

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТАНА И ЕГО ПОТОКИ В СИСТЕМЕ  
ВОДА-АТМОСФЕРА НА ВОСТОЧНО-ИНДИЙСКОМ ХРЕБТЕ В  
РЕЙСЕ № 42 НИС «АКАДЕМИК БОРИС ПЕТРОВ»**

**Яцук А.В., Мищукова Г.И., Югай И.Г.**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичёва  
Дальневосточного отделения Российской академии наук,  
ул. Балтийская 43, 690041, г. Владивосток,  
8(423)231-21-07, yatsuk@poi.dvo.ru*

В работе представлена часть газогеохимических исследований, выполненных в рейсе № 42 НИС «Академик Борис Петров» в пределах трех геофизических полигонов в северной части Восточно-Индийского хребта, Индийского океана. С использованием метода «Underway» (проточная судовая система) выполнено 83 станции измерения содержания метана в поверхностных морских водах, получены метеорологические и гидрологические параметры, рассчитан поток метана в системе вода-атмосфера.

The paper presents a part of gas-geochemical studies carried out on cruise № 42 R/V «Akademik Boris Petrov» within three geophysical polygons in the northern part of the Ninetyeast Ridge, Indian Ocean. Using the “Underway” method (a ship’s flow system), 83 stations for measuring methane content are conducted, meteorological and hydrological parameters are obtained and the methane flux in the water-atmosphere interface was calculated.

Мировой океан является одним из основных регуляторов парниковых газов в атмосфере, так как он способен не только выделять их, но и поглощать. В настоящее время остается большая доля неопределенности в оценках потоков и глобального цикла метана. По различным оценкам глобальная морская эмиссия метана находится в диапазоне от 11 до 18 млн тонн/год, причем 75% этого потока приходится на шельфовые районы [1]. Однако следует отметить, что детальность прямых инструментальных измерений потока метана в шельфовых и глубоководных акваториях Мирового океана различна. Кроме того до сих пор остается открытым вопрос о возможном влиянии подводных активных геологических источников на распределение метана и величину его потока в

системе вода-атмосфера. В связи с вышеизложенным, Восточно-Индийский хребет (ВИХ), находящийся в северо-восточной части Индийского океана представляет уникальный геологический объект для исследований. Район характеризуется сложной тектонической структурой и геологической историей образования, повышенной сейсмичностью и наличием вулканических построек [2, 3], возможно активных по настоящее время.

В рамках комплексной экспедиции Российской академии наук на НИС «Академик Борис Петров» (рейс № 42) были выполнены попутные газогеохимические исследования (длина маршрута около 8000 км, 83 станции) в пределах Восточно-Индийского хребта (ВИХ) в период с 25 января по 03 февраля 2017 г. Отбор проб морской воды осуществлялся каждые 1-2 часа с носового кингстона по ходу движения судна, с глубины 4 м от поверхности моря. Измерение концентрации метана проводились методом «headsace» на газовом хроматографе ЭХО-EW-ПВД, снабженного пламенно-ионизационным детектором (ПВД). В качестве газа-носителя использовался гелий. Калибровка прибора проводилась сертифицированными газовыми смесями с концентрациями метана 10, 100 ppm. Погрешность измерений составляла не более 5 %. Расчет концентраций метана растворенного в морской воде производился по методике S. Yamamoto et.al (Yamamoto, 1976) в модификации D. Wiesenburg and N. Guinasso (Wiesenburg, 1979) с использованием расчетных констант растворимости метана [4].

Непрерывные замеры температуры и солености проводились на точном термосолинографе SBE-45. Рабочий диапазон измерений температуры морской воды  $-5^{\circ}\text{C}$  –  $+35^{\circ}\text{C}$  с точностью  $0,002^{\circ}\text{C}$ . Метеорологические наблюдения велись в непрерывном режиме с использованием метеостанция Davis Vantage Pro2. Полученные исходные данные, фиксирующиеся на каждой станции отбора проб, были использованы для расчета потока метана ( $\text{моль}/\text{км}^2$  в сутки) на границе «вода-атмосфера» в районе 3 геолого-геофизических полигонов ВИХ (№1, 2, 3) и на переходах между ними (рис. 1). Расчет газообмена выполнен по методологии, описанной в работах [5, 6].

В результате проведенных исследований получены неоднородные значения концентраций метана, с преобладанием его эмиссии в атмосферу. Суммарное значение величины потока метана по исследованному северо-восточному району ВИХ составило  $290 \text{ моль}/\text{км}^2 \times \text{сут}$ . Концентрация метана в поверхностном слое варьировала от 16 до 150 нл/л (медиана 76,3 нл/л), величина потока от -6 до 14,3  $\text{моль}/\text{км}^2 \times \text{сут}$  (медиана 3.3). Зонами эмиссии метана в атмосферу характеризуются 92 % станций и только на 7 (8 %) из них обнаружено поглощение метана из

атмосферы. Содержание метана в приводном слое атмосферы варьировало от 1,44 до 1,98 ppm (17 измерений, медиана 1,64 ppm). Температура воды менялась незначительно от 28,6°C до 29,8°C (в среднем 29,2°C), соленость от 33,2 до 34,3‰ (в среднем 33,9‰). При этих значениях равновесная концентрация метана в морской воде изменялась в пределах 35,2–45,5 нл/л (медиана 37,6 нл/л). Диапазон изменения насыщения поверхностных вод метаном относительно равновесных с атмосферой варьировал от 35 до 421 % (медиана 201 %), соответственно параметр пресыщения составлял от -65% (недонасыщение) до 321% (перенасыщение).

Сведений об аналогичных измерениях в районе ВИХ, авторы не нашли, поэтому в качестве объекта аналога были выбраны данные полученные в экспедиции SO93 R/V SONNE (январь 1994 г.), проходившей в центральной части Индийского океана, южнее Шри-Ланки [7]. При детальном анализе нами было выделено 3 площадные зоны (рис. 1 – а, б, в) с повышенной эмиссией метана в атмосферу и один район характеризующийся поглощением (рис. 1 – г). Суммарная эмиссия в северо-восточной части ВИХ по предварительным оценкам может достигать 0,18 Тграмм в год, что составляет 1,05 % от величины всей морской эмиссии метана [1].

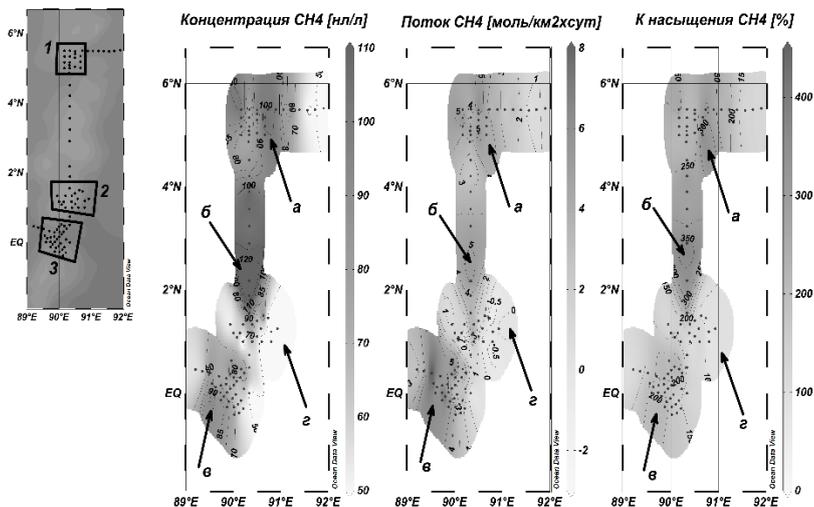


Рис. 1. Распределение метана, величины потока  $\text{CH}_4$  в системе вода–атмосфера, насыщения метаном (%) (Ocean Data View 2016. R. Schlitzer)

Полученные результаты могут говорить о возможных дополнительных источниках поступления метана, связанных не только с биохимическими процессами, протекающими в поверхностной воде, но и с подводными источниками, обусловленными современной сейсмотектонической активностью региона [2, 3].

Исследование выполнено в рамках Второй международной индоокеанской экспедиции 2015-2020 гг. (Second International Indian Ocean Expedition, ПОЕ-2). Работы поддержаны программой ФНИ РАН № 0271–2016–0008.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Bange H.W.** Methane in the Baltic and the North Seas and reassessment of marine emissions of methane / Bartell U.H., Rapsomanikis S., Andrae O. // *Global Biogeochem. Cycles.* – 1994. – v.8. – P.465–480.

2. **Левченко О.В.** Тектоника хребта Девяностого градуса / И.М. Сборщиков, Ю.Г. Маринова // *Океанология.* – 2014. – Т. 54, № 2. – С. 252–266.

3. **Левченко О.В.** Комплексные исследования подводной горы в основании северного сегмента Восточно-Индийского хребта / Р.А. Ананьев, И.А. Веклич, А.Н. Иваненко, Ю.Г. Маринова, Н.Н. Турко // *Вестник Краунц. Науки о Земле.* – 2018. – № 3. Выпуск 39. – С. 90–104.

4. **Wiesenburg, D.A.** Equilibrium solubility of methane, carbon monooxide, and hydrogen in water and sea water / Guinasso, N.L. // *J. Chem. Eng. Data.* – 1979. – № 24 (4). P.356–360.

5. **Мишукова Г.И.** Метан в пресных и морских водах и его потоки на границе вода–атмосфера в Дальневосточном регионе / А.В. Обжиров, В.Ф. Мишуков. – Владивосток: Дальнаука, 2007. – 159 с.

6. **Мишукова Г.И.** Пространственная и временная изменчивость распределения метана и его потоков на границе вода-атмосфера на Прикурильских акваториях в районе Охотского моря и Тихого океана / Н.Л. Пестрикова, О.Ф. Верещагина, А.К. Окулов, В.Ф. Мишуков // *Подводные исследования и робототехника.* – 2013. – № 1(15). – С. 52–61.

7. **Berner U.** Methane in ocean waters of the Bay of Bengal: its sources and exchange with the atmosphere / Poggenburg J., Faber E., Quadfasel D., Frische A. // *Deep-Sea Research II.* – 2003. – Volume 50, Issue 5. – P.925–950.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ИСКРОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВОДЫ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ**

**Буланов А.В., Нагорный И.Г.**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева  
Дальневосточного отделения РАН  
Владивосток, 690041, ул. Балтийская, д.43  
Тел.: (423)2312579; Факс: (423)2312573, E-mail: a\_bulanov@me.com*

Показано, что при воздействии ультразвука наблюдается увеличение акустической эмиссии и интенсивности спектральных линий растворенных элементов в воде, что свидетельствует о новом комбинированном методе ультразвуковой лазерной искровой спектроскопии воды природных средах.

It is established that the action of ultrasound leads to both sharp enhancement of the acoustic emission and increase in the intensity of spectral lines of laser-excited elements dissolved in water, which provides a new method of ultrasonic laser spark spectroscopy of a water in natural environments.

Лазерно-искровая спектроскопия твердых объектов является широко используемой технологией, применяется и в промышленности и в научных исследованиях [1–3]. Актуальность изучения механизмов генерации оптического пробоя в жидкости связана с разработкой новых оптико-акустических источников звука и методов оптико-акустической диагностики сред [1], а также с применением метода лазерной искровой спектроскопии для элементного анализа жидкостей [2–4]. Вместе с тем механизм оптического пробоя при облучении мощным лазерным излучением водных мишеней существенным образом отличается от механизма взаимодействия лазерного излучения с металлами и другими твердыми телами. Со спектроскопическим анализом жидкостей сопряжены трудности, связанные с тем, что, как правило, применяется пробой на поверхности жидкостей, где, в свою очередь, мощный вклад вносят линии атмосферных газов. Выход заключается в использовании пробоя в толще жидкости, так как в этом случае посторонний эффект газа исключается [4]. Однако в этом случае имеется дополнительная трудность, связанная с ослаблением возбуждаемых слабых линий эле-

ментов вследствие поглощения в жидкости. Поэтому важным является повышение интенсивности линий при пробое. Казалось бы очевидно, что повышение мощности лазерного облучения могло бы стать способом преодоления этой трудности. Однако, ряд экспериментов [4] свидетельствует об обратном парадоксальном эффекте – начиная с определенных порогов повышение мощности облучения не приводит к усилению интенсивности высвечиваемых линий элементов. Представляло интерес изучить воздействие дополнительного акустического излучения на процесс лазерного пробоя с целью выявить возможность его влияния на повышение интенсивности линий элементов, возбуждаемых при таком комбинированном пробое жидкости. Полученные результаты представлены ниже. С использованием наносекундного лазера в широкой временной области была изучена динамика лазерного пробоя с традиционной оптической регистрацией пробоя в наносекундной области и на более поздних стадиях. Для этого был проведен ряд экспериментов для возбуждения оптического пробоя в толще жидкости с использованием ND:YAG лазера "Brilliant", работающего в режиме модулированной добротности, со следующими параметрами излучения: длина волны 532 nm, длительность импульса 10 ns, энергия в импульсе до 500 mJ. Плотность мощности лазерного излучения дополнительно возрастала за счет острой фокусировки излучения в необходимом месте (в толще жидкости или вблизи поверхности жидкости) с помощью линз (2) с различными фокусными расстояниями. ( $F = 40, 75$  и  $125$  mm). При этом в зависимости от применения короткофокусной или длиннофокусной линзы менялся характер распределения в области пробоя. Регистрация оптического пробоя осуществлялась с применением оптического многоканального анализатора спектров FlameVisionPROSystem, с временным разрешением 3 ns.

Исследования спектроскопических параметров лазерного пробоя были проведены при различных концентрациях соли при наличии и в отсутствии поля ультразвука. Это позволило увеличить интенсивность отдельных спектральных линий (а некоторых удалось их разрешить), что позволяет говорить о новом комбинированном методе лазерной и ультразвуковой искровой спектроскопии. В первую очередь было выявлено влияние концентрации растворенных веществ в растворе на оптоакустические эффекты. Показано, что существует разный характер пробоя при различной концентрации растворенной соли в воде. Экспериментальным подтверждением данного явления стало обнаружение усиление интенсивности линий натрия при различных концентрациях соли NaCl и NaHCO<sub>3</sub>.

На рис. 1 представлены линии натрия при лазерном пробое с дополнительным использованием ультразвука и без ультразвука при разных

концентрациях NaCl (для 10% и 3.5% раствора NaCl, последнее, в частности, соответствует типичной концентрации соли в морской воде Японского моря). Надо отметить, что лазерное излучение было пороговым для пробоя жидкости и эффект усиления линии проявлялся наиболее ярко. Как видно из рис. 1, усиление линии под воздействием ультразвука наблюдается при всех концентрациях используемых растворов, что свидетельствует об эффективности спектроскопического возбуждения жидкости ультразвуком. Причина эффекта неясна, возможно эффект усиления связан с пробоем на стенке кавитируемого пузырька от ультразвука, что является пробоем на границе раздела двух сред. Понижение порога пробоя также предположительно может быть вызвано механизмом совместного электроакустического взаимодействия в сильном электролите. Последнее может приводить к дополнительной диссипации энергии в фокальной области взаимодействия лазерного излучения с раствором, вследствие которого возникает дополнительный перегрев и облегчение образования полостей в жидкости. Используя модуляцию и синхронизацию акустического и оптического излучения по методике описанной выше, было определено возрастание интенсивности линии другого элемента – кальция при различных мощностях лазерного излучения.

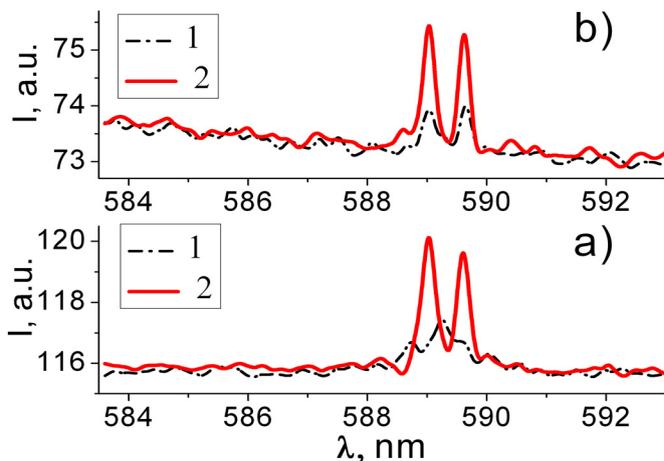


Рис.1. Интенсивность линий I натрия без использования ультразвука (1) и с использованием (2) при различной концентрации раствора NaCl: а – 10; б – 3.5%

Таким образом, показано, что при воздействии ультразвука наблюдается усиление линии при всех концентрациях используемых растворов, что свидетельствует об эффективности спектроскопического возбуждения жидкости ультразвуком. Представленная методика синхронизации акустического и оптического излучения позволила определить зависимость интенсивности спектральных линий от фазы ультразвукового воздействия.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности повышения эффективности лазерно-искровой спектроскопии жидкости в поле ультразвука и позволяют говорить о возможности прикладного применения ультразвука в технологии ЛИС.

Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ №16-02-00841 и №18-32-20146.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Cremers D. A. and Radziemski L. J.** Handbook of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy, John Wiley & Sons, New York, 2006. P. 282.
2. **Sturm V., Peter L., Noll R.** // Appl. Spectrosc. 2000. V. 54. P. 1275–1278.
3. **Michel, Anna P. M., Marion Lawrence-Snyder, S. Michael Angel, and Alan D. Chave.** // Appl. Spectrosc. 2007. V. 61. N. 2. P. 171–176.
4. **Буланов А.В., Нагорный И.Г., Соседко Е.В.** // ЖТФ. – 2013. – Том 83. – Вып. 8. – С. 117–120.

УДК 551.46.083

### **РАЗРАБОТКА ФЛУОРИМЕТРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИЖИЗНЕННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА-А И РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО ФОТОАППАРАТА**

**Поважный В.В.**

ФГБУ «АНИИ»,  
ул. Беринга 38, 199397, г. Санкт-Петербург  
+7(812)337-31-96, povazhny@aari.ru

В работе описана разработанная оригинальная схема измерения флуоресценции хл-А и концентрации растворенного кислорода с использованием цифрового фотоаппарата при возбуждении флуоресценции хл-А и люминесценции датчика

кислорода штатной вспышкой через синий светофильтр СЗС-22 и регистрацией сигнала на цифровой КМОП-матрице через красный светофильтр КС-17. Приводятся результаты калибровки рабочего макета прибора в водах второго типа.

The original setup to measure *in vivo* fluorescence of chlorophyll-A, together with dissolved oxygen on the basis of digital camera is described. The fluorescence of chlorophyll and the luminescence of optode is excited by standard flashlight, covered with blue SZS-22 color glass filter, while the signal is registered on the CMOS-matrix via red KS-17 color glass filter. The results of calibration of the setup are discussed.

Определение прижизненной флуоресценции фитопланктона (F) позволяет выполнять экспресс-оценку концентрации хлорофилла-А (хл-А) в природных водах без использования лабораторных методов фильтрации и экстракции фитопигментов. Интенсивность F для живого фитопланктона на один-два порядка ниже сигнала флуоресценции экстрагированного хл-А в аналогичной концентрации, что требует повышенной чувствительности приемника F. Вместе с тем, калибровка флуориметров с учетом локальных гидрологических и гидробиологических особенностей водоема позволяет получать данные по хл-А с достаточной точностью [1]. Совпадение полос возбуждения и регистрации люминесценции батофенантролинового комплекса рутения, используемого в оптических датчиках растворенного кислорода [2] с аналогичными полосами для хл-А позволяет создавать комбинированные датчики этих важных параметров водной среды.

Нами была разработана оригинальная схема измерения флуоресценции хл-А и концентрации растворенного кислорода с использованием цифрового фотоаппарата при возбуждении флуоресценции хл-А и люминесценции датчика кислорода штатной вспышкой через синий светофильтр СЗС-22 и регистрацией сигнала на цифровой КМОП-матрице через красный светофильтр КС-17. Целями настоящей работы является описание результатов калибровки рабочего макета флуориметра в экспедиционных условиях в Черном и Азовском морях.

При подготовке цифрового фотоаппарата (Nikon D3100) к выполнению измерений в режиме флуориметра штатная вспышка камеры была закрыта стеклянным светофильтром марки СЗС-22 с полосой пропускания 450–500 нм, а перед объективом камеры был закреплен стеклянный светофильтр марки КС-17 с полосой пропускания более 660 нм. При съемке использовался ручной режим настройки значений выдержки и диафрагмы камеры (1/30 сек и 1:3.4 соответственно), а также значений

светочувствительности (ISO 6400-12800) и баланса белого. Измерения выполнялись в поликарбонатной кювете прямоугольной формы объемом 0,25 л. На внутренней поверхности кюветы были закреплены датчики растворенного кислорода и мутности воды. Люминесцентный датчик растворенного кислорода был изготовлен в соответствии с рекомендациями [2] с использованием силиконовой мембраны толщиной 100 мкм, импрегнированной батофенантролиновым комплексом рутения (II). Концентрация люминофора в мембране была подобрана экспериментально для получения требуемых значений яркости свечения. Датчик мутности был изготовлен аналогичным образом и изолирован от водной среды прозрачной поликарбонатной пластиной. Датчик состоял из двух частей, закрепленных на передней и задней поверхностях кюветы. Измерения выполнялись в затемненном боксе черного цвета. При обработке изображений в пакете Adobe Photoshop CS3 выделялась область изображения, свободная от тени и бликов. Для этой области устанавливалось значение средней яркости пикселя в красном канале. Сигнал F рассчитывался как яркость выделенной области изображения в красном канале за вычетом сигнала холостой пробы (дистиллят). Одновременно выполнялись измерения яркости изображения датчиков кислорода и мутности.

При отработке схемы измерения F цифровым фотоаппаратом были получены данные для пяти экспедиций в Черном и Азовском морях. Высокая концентрация взвешенного вещества в Азовском море не препятствовала получению сигнала F при использовании данной схемы измерений. Пример калибровочных кривых для разработанного флуориметра на основе цифрового фотоаппарата в Азовском море показаны на рис. 1.

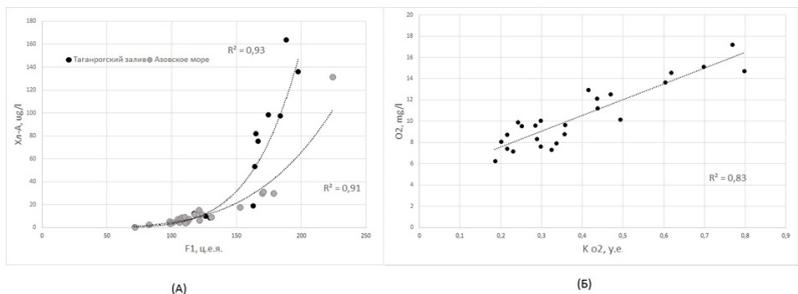


Рис. 1. Калибровочные кривые, полученные при измерении F фитопланктона (А) и растворенного кислорода (Б) Азовского моря для флуориметра на основе цифрового фотоаппарата

При рассмотрении результатов калибровки флуориметра можно отметить выраженную нелинейность уравнения, описывающего зависимость сигнала  $F$  от  $xл-А$  в Азовском море, очевидно связанную с вторичным поглощением сигнала  $F$  в толще препарата большого объема. Чувствительность измерительной схемы в данном случае снижалась.

Полученные данные позволили ориентировочно оценить наименьший достоверный предел обнаружения  $xл-А$ . Указанный показатель был рассчитан как трехкратное значение среднего стандартного отклонения сигнала холостой пробы, подставленное в уравнение регрессии, полученное для отдельных станций [3]. Минимальный предел обнаружения  $xл-А$ , рассчитанный по данной методике, составил по данным пяти экспедиций 0,5 мкг  $xл-А/л$  для светочувствительности ISO 6400. Полученные результаты позволяют использовать предложенную схему в водах Азовского моря при высокой концентрации взвеси при наличии корректирующего канала для учета ее влияния. Чувствительность схемы также может быть повышена при использовании фотоаппарата с большей светочувствительностью (ISO 12800 и более).

Таким образом, в результате калибровки флуориметра с использованием препаратов живого фитопланктона была показана возможность использования прибора при проведении мониторинга водных экосистем Черного и Азовского морей. При дальнейшей модификации измерительной схемы требуется учитывать необходимость корректирующего канала для определения общей взвеси, а также повысить чувствительность прибора. При установке флуориметра в автономном режиме может быть реализован дистанционный контроль работы измерительной системы, а также получение сигнала  $F$  удаленно в непрерывном режиме.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Карабашев Г. С.** Флуоресценция в океане //Л.: Гидрометеиздат. – 1987. – 200 с.
2. **Bacon, J. R., and J. N. Demas.** "Determination of oxygen concentrations by luminescence quenching of a polymer-immobilized transition-metal complex." *Analytical Chemistry* 59.23 – 1987 – 2780-2785.
3. **Arar E. J.** USEPA Method 446.0 //Vitro Determination of Chlorophylls a, b, c + c and Pheopigments in Marine And Freshwater Algae by Visible Spectrophotometry. *Methods for the Determination of Chemical Substances in Marine Estuarine Environmental Samples: EPA.* – 1997.

## СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ ПЛОЩАДКИ АБРАУ-ДЮРСО (ЧЕРНОЕ МОРЕ)

**Ковачев С.А.**

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

В статье представлена методика, использовавшаяся для уточнения параметров сейсмических воздействий с учетом слоя рыхлых осадков на морском дне на примере лицензионного участка Абрау-Дюрсо (Черное море).

The article presents the methodology used to refine the parameters of seismic effects, taking into account the layer of loose sediments on the seabed using the example of the Abrau-Durso 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 метод сейсмической жесткости, который был разработан С.М. Медведевым [1] и определяет приращение интенсивности сейсмических сотрясений в баллах шкал MSK-64 путем сравнения средней сейсмической жесткости рыхлого грунта с сейсмической жесткостью эталонного грунта, подстилающего слой рыхлых осадков. При этом используется формула:

$$\Delta I = 1.67 \log(\rho_{\text{эт}} \cdot V_{\text{эт}} / \rho_{\text{гр}} \cdot V_{\text{гр}}), \quad (1)$$

где  $\Delta I$  – приращение интенсивности сейсмических сотрясений в баллах шкалы MSK-64,  $\rho_{\text{эт}}$  – плотность эталонного грунта,  $V_{\text{эт}}$  – скорость поперечных сейсмических волн в эталонном грунте,  $\rho_{\text{гр}}$  – средняя плотность грунта, покрывающего эталонный грунт,  $V_{\text{гр}}$  – средняя скорость поперечных волн в грунте, покрывающем эталонный.

СМР было выполнено для южной части площадки «Абрау-Дюрсо», которая расположена в абиссали 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 Абрау-Дюрсо были использованы данные лабораторных испытаний образцов грунта (плотность и другие параметры, полученные по данным бурения), формула Гамильтона [2], и известное в сейсморазведке уравнение “*mudrock line*” («аргиллитно-глинистой линии») [3].

Уравнение Гамильтона, связывающее скорость продольных сейсмических волн и плотность осадков имеет вид:

$$V_p=2270.9-1194.4\rho+474.6\rho^2, \quad (2)$$

где  $V_p$  – скорость продольных волн в осадках в м/с,  $\rho$  – плотность осадков г/см<sup>3</sup>. 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 [3]:

$$V_p=1.16V_s+1.36, \quad (3)$$

где скорости  $V_p$  и  $V_s$  измеряются в км/с.

На рисунке 1 представлен пример модели грунтовой толщи для точки AS4s20 (площадка Абрау-Дюрсо).

Для точки AS4s20 выделено три слоя (границы) с разной сейсмической жесткостью:

1. мощность 3 м, плотность – 1.47 г/см<sup>3</sup>, скорость поперечных волн – 156 м/с;
2. мощность 18 м, плотность – 1.67 г/см<sup>3</sup>, скорость поперечных волн – 207 м/с;
3. граница на глубине 21 м, ниже плотность пород определена, как 1.80 г/см<sup>3</sup>, скорость поперечных волн – 254 м/с.

Нижняя граница выделена по сейсмическим данным, где происходит резкий скачок скоростей продольных волн. Ее глубина варьирует для разных точек, где был известен скоростной разрез, от 20 до 30 м.

Осадочные породы с такими сейсмическими параметрами (плотность – 1.80 г/см<sup>3</sup>, скорость поперечных волн – 254 м/с) можно выбрать в качестве эталонного грунта в соответствии с РСН 60-86 (1987).

Таким способом были разработаны модели грунтовой толщи для 35 точек площадки «Абрау-Дюрсо». К точкам пробоботбора были добавлены 73 точки с известными по сейсмическим данным скоростными разрезами. Плотности, соответствующие сейсмическим скоростям были получены с помощью уравнения Гамильтона.



Рисунок 1 – Модель грунтовой толщи для точки AS4s20 площадки «Абрау-Дюрсо», полученная по данным о плотности осадков в верхней части разреза и данным о скоростях сейсмических волн в нижней части разреза.

Красные кружки на диаграмме – определение плотности осадочной породы по данным лабораторных испытаний. Красная линия – зависимость плотности от глубины (осреднение по близким точкам). Синяя кривая – зависимость скорости от поперечных волн от глубины. В верхней части разреза она получена пересчетом плотности в скорости сейсмических волн с использованием уравнений (2) и (3). В нижней части разреза использованы скорости продольных волн по сейсмическим данным, пересчитанные в скорости поперечных волн с помощью уравнения (3)

Всего на площадке «Абрау-Дюрсо южная» была определена сейсмическая жесткость верхнего слоя осадков (9-30 м) в 108 точках. По этим данным была построена карта балльности по шкале MSK-64 (рис. 2), при этом за исходное сейсмическое воздействие принималось значение  $I=7.6$  балла согласно данным УИС.

Результаты расчетов показывают, что для средних грунтовых условий на площадке «Абрау-Дюрсо южная» и периода повторяемости сотрясений 1000 лет интенсивность сейсмических воздействий не превышает 7.6 балла шкалы MSK-64. Учет грунтовых условий площадки, выполненный методом сейсмических жесткостей, увеличивает интенсивность сейсмических воздействий на 0.3-0.7 балла шкалы MSK-64. Для большей части площадки «Абрау-Дюрсо южная» сейсмические воздействия не превышают 8 баллов и лишь в отдельных пунктах достигают 8.2-8.3 балла.

Работа выполнена по Государственному заданию № 0149-2019-0005.

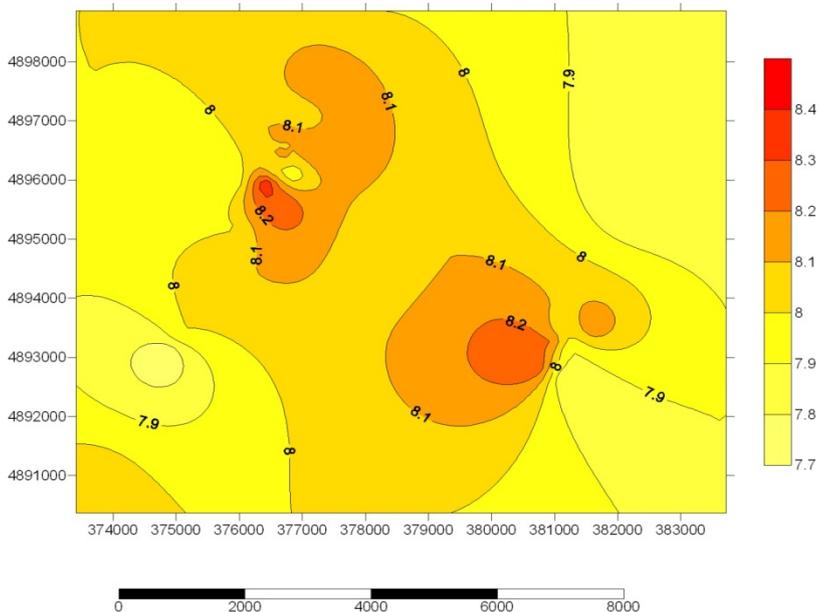


Рисунок 2 – Карта распределения интенсивности сейсмических сотрясений по шкале MSK-64, построенная для площадки «Абрау-Дюро южная» методом сейсмической жесткости

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Медведев С.В.** Международная шкала сейсмической интенсивности. / В кн.: Сейсмическое районирование СССР. – М., Наука, 1968. С.158–162.
2. **Hamilton E.L.** Sound Velocity and Related Properties of Marine Sediments, North Pacific. *J. Geophys. Res.* 1970. V.75. No.23. PP.4423–4446.
3. **Castagna J.P., Batzle M.L., Eastwood R.L.** Relationships between compressional wave and shear wave velocities in clastic silicate rocks. *Geophysics*, 1985. V.50. PP.571–581.

## ГОЛОЦЕНОВАЯ ИСТОРИЯ И РЕЛЬЕФ ЗАПАДНОГО ШЕЛЬФА КРЫМА

**Коротаяев В.Н., Мысливец В.И., Поротов А.В., Иванов В.В.**

*Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова  
Москва, ГСП-1, 119991, МГУ.; 8 (495) 9395695; vlaskor@mail.ru*

Рельеф побережья и дна Западного шельфа Крыма был сформирован во время голоценовой трансгрессии Черного моря. Выделяются две абразионно-аккумулятивные поверхности на глубинах 10–15 м, 30–40 м, реликтовые подводные аккумулятивные (валы) и эрозионные (русла рек) формы.

The relief of coastal and bottom of Western Shelf Crimea was formatted at during Holocene transgression of Black Sea. The two abrasion-accumulate terraces on depth 10–15 m, 30–40 m and relict submarine accumulate (banks) and erosion (river channels) forms were detailed.

В результате крупномасштабных колебаний уровня Черного моря к началу голоценового этапа в геоморфологическом отношении поверхность западного шельфа Крыма представляла собой полого наклоненную к юго-западу субгоризонтальную равнину, рельеф которой был унаследован от позднеплейстоценового субаэрального рельефа приморской равнины. Характерной особенностью является отчетливо выраженная расчлененность речными долинами, которые выражаются в современном рельефе в виде линейных желобов с перепадами глубин 10–15 м и шириной от 2 до 20 км и более. Другой характерной региональной особенностью рельефа шельфа является присутствие двух уступов субширотного простирания, один из которых располагается в интервале глубин 30–40 м, а второй уступ выражен отчетливым перепадом в рельефе дна на глубинах 10–15 м.

В общем ходе голоценовой трансгрессии Черного моря выделяются пять фаз ускоренного подъема уровня (бугазский, витязевский, каламитский, джеметинский и нимфейский), разделенных относительно кратковременными фазами стабилизации или незначительного понижения уровня моря. В период начального (бугазского) этапа уровень моря к временному рубежу около 8,5 тыс. л.н. достиг отметок –20–25 м. Бере-

говая линия этого возраста прослеживается по всему периметру северо-западного сектора черноморского шельфа и на побережье западного Крыма была выделена в ходе геологических исследований ИО РАН (Невесский, 1967). Погребенная аккумулятивная форма, отделяющая расположенное ближе к берегу обширное поле лиманных отложений, представляет собой наиболее раннюю генерацию барьерных кос, сформировавшихся в ходе голоценовой эволюции абразионно-аккумулятивного берега на участке побережья к северу от м. Лукулл и протягивающегося с перерывами вплоть до северного окончания Евпаторийской бухты (м. Карантинный). Согласно данным бурения на приустьевых участках малых рек западного Крыма (Бельбек, Кача и др.) к этому временному рубежу относится начало ингрессии морских вод в низовья речных долин и формирования лиманов.

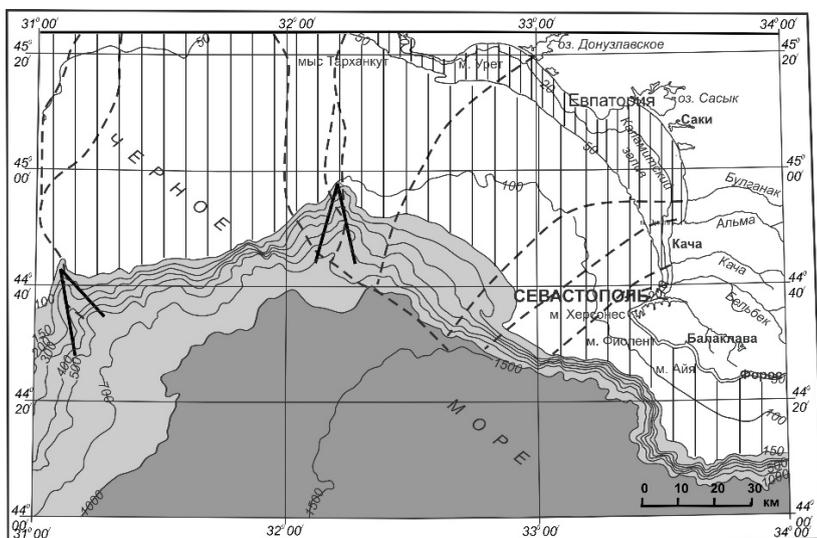
Наиболее молодая реликтовая аккумулятивная форма на внутреннем шельфе западного Крыма установлена на глубинах 10–12 м, представлена маломощным береговым валом, сложенным литифицированными карбонатными песками, который датируется по биостратиграфическим материалам витязевским (7–7,2 тыс. л.н.) этапом трансгрессии. Следует отметить, что береговая линия витязевского этапа выделяется по материалам геологических исследований вдоль всего северо-западного сектора черноморского шельфа и образует наиболее молодой гипсометрический уровень среди древних береговых линий, выраженных в рельефе и осадках внутреннего шельфа. Последующие более молодые береговые линии второй половины голоцена, как правило, залегают либо в тыловых частях береговых террас, либо слагают основание современных пересыпей.

Возникновение пересыпей, сопровождавшееся превращением морских заливов в изолированные лиманы, происходило при положении уровня моря на 4–5 м ниже современного и по данным <sup>14</sup>C датирования раковинного материала из кровли морских фаций относится в временному рубежу 5,3–5,6 кал. л.н. Как показывают данные <sup>14</sup>C датирования, полное обособление озер-лиманов от моря и превращение их в сильно минерализованные озера произошло около 4,7–5 кал. л.н. и, по видимому, связано с завершением формирования наиболее ранних генераций пересыпей под влиянием временной стабилизации уровня моря.

Детальное изучение строения пересыпей западно-Крымских лиманов показало, что их эволюция за последние 4,5–5 тыс. лет включает несколько этапов, которые отражают влияние изменений штормовой активности под влиянием климатической ритмики голоцена, которая возможно проявлялась на фоне малоамплитудных колебаний уровня моря.

Это нашло свое отражение в формировании нескольких генераций береговых валов, наиболее отчетливо выраженных в строении лиманного барьера оз. Сасык (Евпатория), возраст наиболее молодой из которых на основании найденных на поверхности археологических материалов скифского времени охватывает последние 2,5 тыс. лет.

Подъем уровня Черного моря во время голоценовой трансгрессии, одновременно с формированием подводных аккумулятивных форм и перемещением их в сторону суши, привел также к повсеместной абразии и отступанию береговой линии. В настоящее время почти на всем побережье Тарханкутского полуострова развиты абразионно-денудационные и абразионно-оползневые берега, выработанные в неогеновых известняках. Так, от м. Тарханкут до оз. Донузлав береговая линия представлена неровным, мелко бухтовым абразионным берегом с многочисленными гротами, пещерами, останцами и навалом плит известняка у подножья клифа.



**Геоморфологическая карта Западного шельфа Крыма:**

1 - внутренний шельф (0 - 50 м), 2 - внешний шельф (50 - 100 м), 3 - материковый склон (100 - 1000 м), 4 - глубоководная впадина (более 1000 м), 5 - каньоны, 6 - палеорусла рек

В Каламитском заливе южнее оз. Богайлы аккумулятивный берег с песчано-галечными пересыпями сменяется абразионным, выработанным в суглинистой толще аллювиально-пролювиальных отложений. В основании клифов вскрываются валунно-галечниковые конгломераты мощностью до 1 м из серого известняка, песчаников, кремней и кварца, которые представляют собой аллювий южных крымских рек, русла которых блуждали по поверхности глинистых толщ. Между устьями рек Качи и Бельбека поверхность современного клифа нарушена оползневыми процессами, образующими оползневые террасы протяженностью до сотен метров. Южнее устья р. Бельбек в основании абразионных клифов начинают эпизодически появляться сарматские известняки, которые в районе Севастопольской бухты уже представляют единый слой, слагающий подводный бенч.

Севастопольская бухта представляет собой подтопленную часть долины р. Черной и врезана в сарматские известняки на глубину от 20 до 30 м. Местность между Севастополем и Балаклавой, называемая Гераклейским полуостровом, расчленена несколькими длинными и глубокими балками, подтопленные устьевые части которых образуют крупные и мелкие бухты: Южную, Карантинную, Стрелецкую, Камышевую, Казачью, Килен, Артиллерийскую и Круглую. Береговая линия между бухтами представлена активным клифом, а побережье – каменной поверхностью из доломитизированного известняка верхнего сармата.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ-РГО-а (проект № 17-05-41041).

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЕЙШИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИССЛЕДОВАНИИ ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩИ И РЕЛЬЕФА ДНА ЗАПАДНОГО ШЕЛЬФА КРЫМА

**Римский-Корсаков Н.А.<sup>1,2</sup>, Пронин А.А.<sup>1</sup>, Анисимов И.М.<sup>1</sup>,  
Белевитнев Я.И.<sup>1</sup>, Мутовкин А.Д.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01, nrk@ocean*  
<sup>2</sup>*МГТУ им.Н.Э.Баумана, Москва*

С помощью технологии акустического профилирования и гидролокатора была исследована морфология рельефного дна полуострова Крым. Получены новые данные о тектонике и строении древних русел рек.

The morphology of the relief bottom of Crimea peninsula was investigated with the help of acoustic profiler and sonar technology. New data on the tectonics, structure of the ancient riverbeds were obtained.

Главной целью проведения прибрежно-морской научной экспедиции «Крым 2018» было получение новейших материалов по геоморфологическому и геологическому строению шельфа полуострова Крым с использованием современных методов океанологии и геофизики, необходимых для изучения экологии, современного рельефа и геологического строения шельфа Крыма, для восстановления истории его формирования в новейшее время. При этом решались следующие задачи:

– получение новых данных по геоморфологии дна и геологическому строению шельфа полуострова Крым методами дистанционного геоакустического зондирования (эхолотный промер материковой отмели Крыма, акустическое зондирование и гидролокационное картирование шельфа);

– выяснения природы процессов, формирующих современный шельф Крыма;

– развитие гидролокационных технологий обеспечения геоморфологических исследований шельфа с применением новых технических средств, создаваемых в ИО РАН.

В соответствии с Программой прибрежно-морской научной экспедиции «Крым 2018» в 2018 г морские экспедиционные работы проводи-

лись в южной и юго-западной частях шельфа полуострова Крым, в районах Севастополь – Балаклава и Севастополь – Евпатория.

Районы работ и расположение галсов инструментальной съёмки выполненных в 2018 г. представлены на рис.1 и 2.

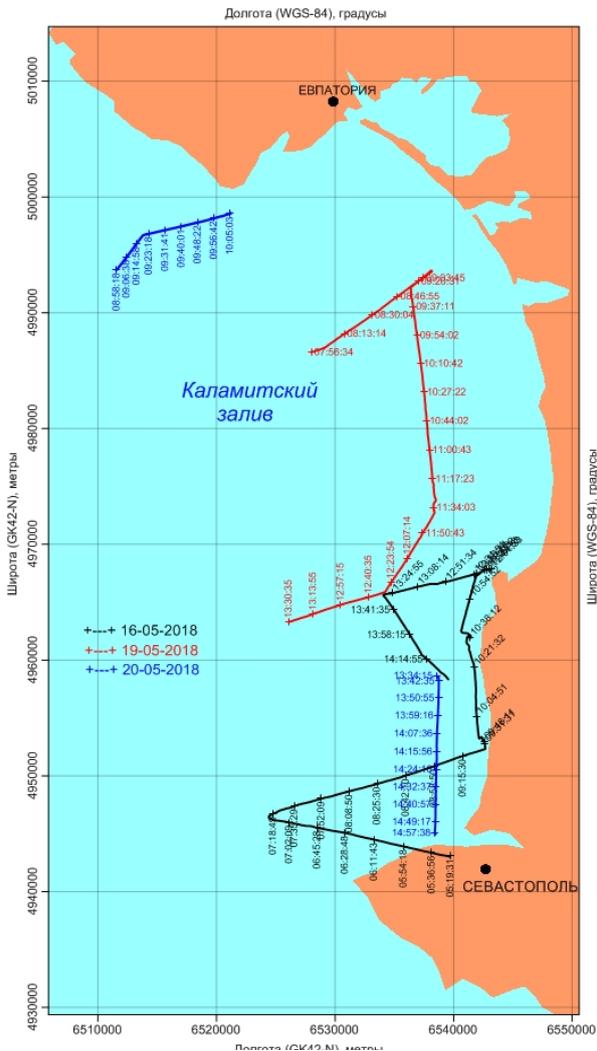


Рис. 1. Схема галсов на Евпаторийском полигоне

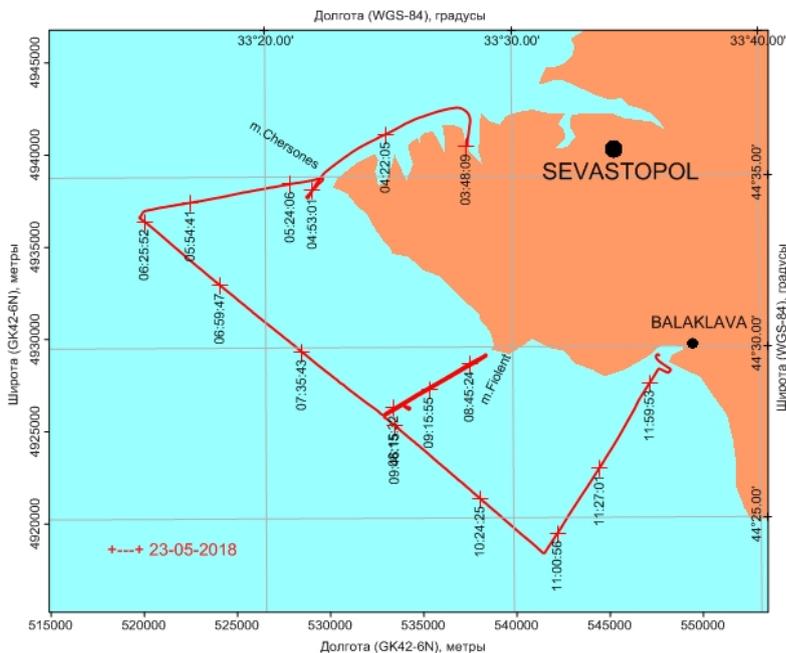


Рис. 2. Схема галсов на Севастопольском полигоне

В процессе работы для исследования геологического строения шельфа Западного Крыма применялись современные методы практической океанографии и геофизики. В частности, был использован комплекс оригинальной гидролокационной аппаратуры, разработанный в Лаборатории гидролокации дна Института океанологии РАН. В качестве судовой части электроники использовалась аппаратура Chirp Sonar производства американской компании DATA SONICS, позволяющая излучать частотно модулируемые (ЧМ) сигналы. Она была адаптирована для работы с буксируемым телом акустического профилографа АП-5. Сбор первичных данных производился с помощью штатной программы DATA SONICS, а предварительная обработка с помощью программы KRAVCHU, разработанной в ИО РАН. Для проведения гидролокационной съёмки поверхности дна использовался высокоразрешающий трехчастотный гидролокатор бокового обзора (ГБО) «YellowFinn», фирмы Imagenex, с рабочими частотами 120, 300 и 600 кГц. Для получения эхолотных профилей использовались цифровые эхолоты Скат-М и LMS-350.

Навигационная привязка маршрутов эхолотного промера, профилей акустического зондирования и галсов гидролокационной съемки осуществлялась с помощью дифференциального GPS-приемника Sigma-G3T фирмы Javad, использующего данные, как спутниковой группировки GPS, так и ГЛОНАСС. Дополнительно использовались GPS-приемники Garmin 46 и BU-353. Акустическое профилирование, гидролокационная съемка дна и эхолотирование выполнялись одновременно, при движении судна по запланированным галсам со скоростью до 4 узлов.



Рис. 3. Судовой блок аппаратуры акустического профилирования (слева) и пример изображения разреза рыхлых отложений

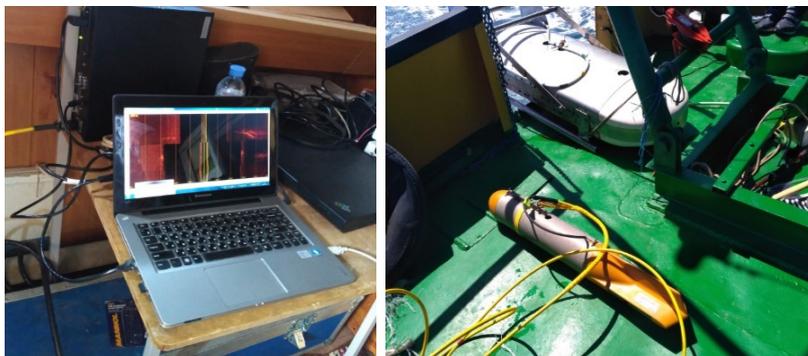


Рис.4. Судовой блок (слева) и буксируемое тело (справа) ГБО «YellowFin». На заднем плане – буксируемое тело акустического профилографа АП-5

Всего было сделано 14 профилей. Акустического зондирования Общая площадь покрытия дна гидролокационной съёмкой – 65 км<sup>2</sup>. Общая длина галсов акустического профилирования толщи донных отложений – 161.2 км. Общая длина галсов эхолотного промера – 180.4 км.

Получен большой объём современных данных по пространственному распределению микро и мезо форм современного рельефа дна и литологическому строению верхней (современной) части толщи донных отложений шельфа полуострова Крым на участке Евпатория–Севастополь–Балаклава. В частности, по данным ГБО «Yellow Finn» установлена граница фациальных зон (песчаных и илистых грунтов), выходы коренных пород, локальные понижения и грядовый рельеф дна С помощью профилографа АП-5 изучена литология и мощность толщи донных отложений.

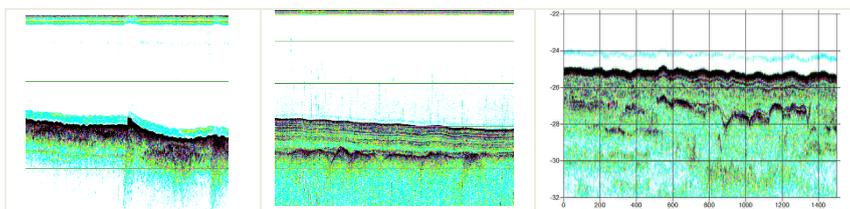


Рис. 5. Примеры полученных данных акустического профилирования. Проявления тектоники (справа и в центре), палеорусло р. Западный Булганак (справа)

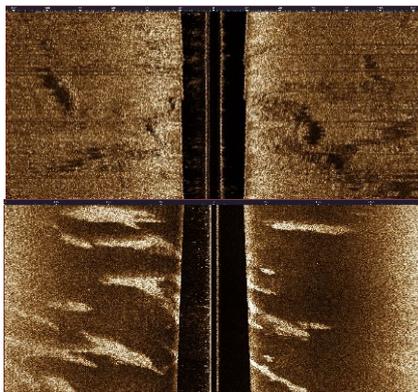


Рис. 6. Крутые уступы на поверхности дна (слева) и характерные пятна ракушечного детрита на поверхности дна в районе п. Любимовка

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема №0149-2019-0011) при поддержке экспедиционных исследований РФФИ (проект №17-05-41041 «РГО-а», и проект №18-05-60070 «Арктика»).

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Иванов В.В., Коротаев В.Н., Мыслевец В.И., Поротов А.В., Пронин А.А., Римский-Корсаков Н.А., Тихонова Н.Ф.** Геофизические и гидрографические изыскания на восточном шельфе полуострова Крым (Феодосия-Керчь-Анапа). // Океанологические исследования: 2018. Том 46. №1. С.82–101.

2. **Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А., Коротаев В.Н., Мыслевец В.И., Поротов А.А.** Инструментальные исследования дна и подводных объектов.//В книге: Системы контроля окружающей среды – 2017 Тезисы докладов Международной научно-технической конференции. Институт природно-технических систем; Ответственный редактор Е.В. Вышкваркова. 2017. С. 43.

УДК 551.46.07

### СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАПАДНОГО ШЕЛЬФА КРЫМА

**Римский-Корсаков Н.А.<sup>1</sup>, Пронин А.А.<sup>1</sup>, Коротаев В.Н.<sup>2</sup>, Мыслевец В.И.<sup>2</sup>, Поротов А.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01, nrk@ocean*  
<sup>2</sup>*Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова; Москва, ГСП-1, 119991, МГУ.; 8 (495) 9395695; vlaskor@mail.ru*

В статье приводятся результаты сейсмоакустического профилирования Западного шельфа Крыма на полигонах Евпаторийский и Севастопольский. Обнаружены подводные долины палео-рек, заполненные рыхлыми осадками (реки Кизыль-Яр и Булганак). Выделена зона выклинивания осадочных отложений на глубине 90–95 м, которая, возможно, отмечает величину наибольшего понижения уровня в позднем плейстоцене.

Paper presents of results seismoacoustic profiles of Western Shelf Crimea on Evpatory and Sevastopol polygons. The submerges valleys of palaeo-river, which filled in of mellow sedi-

ments, was discovered. (rivers Kyzyl-Yar and Bulganak). The terraces on depth 20, 40 and 70 m was distinguished, which formed in during stop-level of Holocene transgression.

Сейсмоакустическая съемка и гидроакустическое картирование шельфа Западного Крыма в 2018 году выполнялась в продолжение работ 2017 г. [1] на двух полигонах: Евпаторийском, расположенным в Каламитском заливе (профили №№ 1–9) и Севастопольском, расположенным на участке побережья Крыма между мысом Херсонес и Балаклавской бухтой (профили №№ 10–14). Полигоны расположены в различных структурно-геологических условиях, что находит непосредственное отражение в строении рельефа дна и осадочной толщи.

Евпаторийский полигон занимает подводное продолжение Альминской впадины, занимающей пониженное пространство побережья с высотами не более 80 м от Евпаторийского мыса до грабена Севастопольской бухты, где неогеновые отложения погружаются под уровень моря, а сверху залегает мощная толща суглинистых аллювиально-пролювиальных четвертичных отложений.

Севастопольский полигон приурочен к западному окончанию северного крыла Крымского мегантиклинория, расположенного за пределами платформенной области и образованного разнообразными сложно дислоцированными породами [2]. Западнее Балаклавской бухты неогеновые известняки отделены по линии сброса от верхнеюрских мраморов и бронируют наклонное плато Гераклеяского полуострова. В устье р. Черной, в неогеновых известняках образована глубоко врезанная в сушу Севастопольская бухта – выраженный в рельефе грабен.

В целом, на дне Западного шельфа Крыма наиболее распространенным типом современных осадков являются *алеврито-пелитовые* и *пелитовые илы* (содержание фракции менее 0,01 мм – 50–70 %). Глубина их залегания колеблется от 150–220 до 2000 м. Затем следуют *ракушники* (около 25%), *пелитовые илы* (около 20%), *пески* (около 10%). Ракушники ( $M_d = 1$  мм) и раковинные пески ( $M_d = 1,0–0,1$  мм) занимают узкую (1–3 км) прибрежную отмель от уреза до глубин 20–25 м. Ракушники представлены в основном обломками раковин пелеципод и гастропод (*Modiola*, *Cardium*, *Bittium*, *Risos*, *Abra*, *Nassarius*, *Chione*, *Mitilus*, *Retusa*). Наименее распространены *крупные алевриты* и *марганцево-железистые конкреции*.

Строение дна Евпаторийской бухты характерно тем, что под небольшим слоем крупно- и мелкозернистых кварцевых песков везде залегают неогеновые известняки, которые в обнаженном виде прослеживаются до глубин 12 м. Центральная часть бухты выстлана ракушей,

гравием и галькой. Слабо заиленные и илистые пески обнаружены в южной и юго-восточной части бухты, а также в ее вершине. Вся прибрежная часть Каламитского залива против пересыпей озер Сасык, Сакского, Кизил-Яр и Богайлы покрыта слоем чистых ракушечных песков, а против абразионных глинистых выступов берега обнажаются красно-бурые глины. Параллельно современному побережью Каламитского залива на дне среди песчаных отложений на глубинах около 10 м протягивается скалистая гряда, являющаяся, очевидно, древним литифицированным береговым баром. За внешним краем этого вала на глубинах 15–20 м залегают илы.

Участок берега от Севастополя до Балаклавы абразионный, со скалистым бенчем и небольшими примкнувшими «карманными» пляжами, сложенными песком и галькой. Высота клифа повышается к югу от нескольких метров у маяка на мысе Херсонес до более чем 100 м, у мыса Фиолент. В основании клифа выходят вулканиты средней юры, перекрытые известняками сармата. Они более устойчивы к абразии и в результате препарировки образуют структурную террасу. К юго-востоку их кровля повышается, они слагают мыс Фиолент, образуя кекур, не вполне еще отделившийся от берега. На шельфе преобладают глубины в 70–90 м и он имеет в целом приглубый характер: 50-м изобата лежит в полукилометре от берега. Здесь начинается морфоструктурная область осевой зоны Крымского мегантиклинория. Сейсмоакустические профили шельфа у мысов Херсонес и Фиолент свидетельствуют об интенсивных погружениях и перекрытии складчатого основания неогеновыми и четвертичными отложениями. Абразия, хоть и играла значительную роль, все же была процессом вторичным в оформлении этого участка побережья. Таким образом, берег между мысами Херсонес и Фиолент образован в результате опускания прилегающего шельфа по разлому и обработки тектонического уступа абразией.

В Севастопольской бухте, заложенной по разлому, продолжение затопленного русла р. Черной на шельфе прослеживается до глубин 31–32 м. Мощность осадочного заполнения долины этой реки достигает здесь 20 м.

Сейсмоакустическое профилирование и гидроакустическое картирование, проведенное летом 2018 г. на участке Западного шельфа от Евпаторийского мыса до Балаклавы, позволило несколько расширить существующие представления о строении осадочной толщи Западного шельфа, сформированной на неровной поверхности субаэральной приморской равнины во время голоценовой трансгрессии Черного моря. Так, на Евпаторийском полигоне на одном сейсмоакустическом профиле, параллельном современной береговой линии (профиль № 3), удалось

обнаружить погребенные подводные долины, заполненные рыхлыми осадками (реки Кизыл-Яр и Булганак).

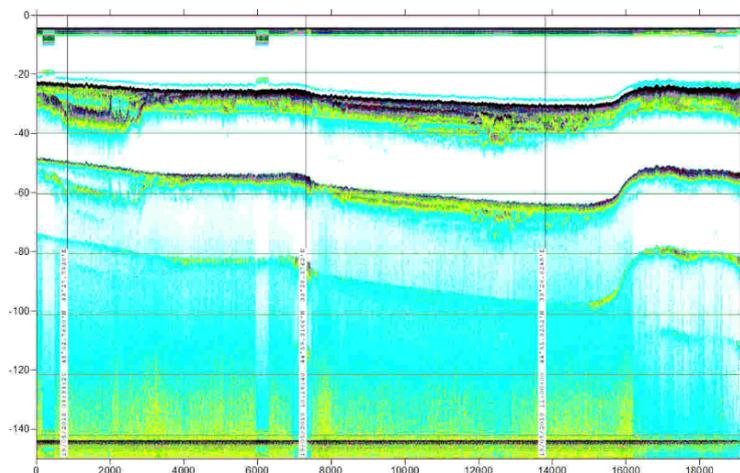


Рис. 1. Фрагмент профиля № 3, где прослеживаются погребенные русла палеорек Кизыл-Яр и Булганак

Профиль № 3. Начинается на широте озера Кизыл-Яр и протягивается параллельно берегу, не доходя до широты устья реки Альма. Начало его лежит на глубинах 22 м, конец – на 25 м; длина профиля 19 км, глубинность по грунту до 15 м. На профиле видны слои: 1) Слой 1 – основание осадочной толщи, ограниченное рефлектором. Поверхность основания неровная и образует два понижения, представляющие собой, судя по всему, эрозионные долины. Ширина первой около 3 км, глубина врезания около 10 м. В рельефе дна она не выражена; 2) Слой 2 – заполняющая ее толща не обнаруживает признаков слоистости до самой поверхности дна. Судя по плановому положению, долина коррелируется с водотоком на месте лагун Кизыл-Яр или Богайлы; 3) Слой 3 – заполняет вторую погребенную долину слоистой аллювиальной толщей мощностью около 3–4 м; 4) Слой 4 – русловые отложения врезанного русла глубиной 10–12 м. Южнее главного русла угадываются еще два, менее глубокие. Их перекрывает толща осадков, видимо, аналогичная слою 2 и выклинивающаяся к бортам долины. На междуречьях выходит слой 1. В рельефе дна долина выражена понижением до 5 м. Понижение коррелируется с долиной реки Западный Булганак (рис. 1).

На поперечных к берегу сейсмоакустических профилях (№№ 10 и 12), сделанных от мысов Херсонес и Фиолент, а также от Балаклавы, зафиксирована слоистая толща, выклинивающаяся на глубинах 90–95 м и перекрытая молодыми отложениями мощностью до 10 м. Возможно, она отмечает величину наибольшего понижения уровня в позднем плейстоцене.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема №0149-2019-0011) при поддержке экспедиционных исследований РФФИ (проект №17-05-41041 «РГО-а», и проект №18-05-60070 «Арктика»)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Иванов В.В., Коротаяев В.Н., Мысливец В.И., Поротов А.В., Пронин А.А., Римский-Корсаков Н.А., Тихонова Н.Ф.** Геофизические и гидрографические изыскания на восточном шельфе полуострова Крым (Феодосия-Керчь-Анапа) // *Океанологические исследования*. – 2018. – Т.46. №.1. – С.82–101. DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2018.46(1).7.

2. **Шрейдер Ал.А.** Формирование глубоководной котловины Черного моря – М.: Научный мир, 2011. – 216 с.: ил.

УДК 551.46.09

### **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ**

**Егоров А.В., Римский-Корсаков Н.А., Лискин В.А.**

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

Рассмотрены методы выявления газовых гидратов и обосновано направление работ по созданию технических устройств в составе донных станций для решения задачи выявления газовых гидратов. Разрабатываемый донный комплекс, найдет свое применение в практике морских океанологических исследований, при оценке ресурсов природного газа в газогидратных скоплениях.

Methods for identifying gas hydrates are considered and the direction of work on the creation of technical devices as part of bot-

tom stations for solving the problem of identifying gas hydrates is substantiated. The developed bottom complex will find its application in the practice of marine oceanographic research, in assessing natural gas resources in gas hydrate accumulations.

Проведен аналитический обзор отечественных и зарубежных результатов применения донных станций и аппаратурных комплексов для поиска газообразных углеводородов, в том числе газовых гидратов, на морском дне. Рассмотрены методы выявления газовых гидратов и обосновано направление работ по созданию технических устройств в составе донных станций для решения задачи выявления газовых гидратов в донных осадках акваторий Мирового океана и морей России. Показана высокая научная значимость выбранного направления работ, его новизна, соответствие современному международному уровню. В области разработок математических моделей образования и разложения газовых гидратов в донных осадках, данное исследование определяет международный уровень.

Особенность проводимых на данном этапе исследований заключается во всестороннем анализе мировых достижений в области использования современных технических средств и методов, применяемых для поиска и исследования газогидратов в донных осадках Мирового океана. По результатам аналитического обзора предложена оптимальная методика использования как традиционного, так и вновь разрабатываемого оборудования, в которой учитываются все самые современные теоретические разработки в области поиска и разведки скоплений газовых гидратов на морском дне. Предлагаемый концептуальный подход соответствует мировому уровню. Разрабатываемый донный комплекс, найдет свое применение в практике морских океанологических исследований, при оценке ресурсов природного газа в газогидратах континентального склона, он может быть использован в нефтегазовой промышленности, в МЧС для проведения аварийно-спасательных работ в глубоководных акваториях.

Принятый, блочно-модульный подход, к созданию автономной донной станции с общей информационной шиной, объединяющей в сеть измерительные модули, позволяет эффективно изменять на унифицированной основе состав измерительных модулей, обеспечивая требуемый набор измеряемых физико-химических параметров морской среды. Выбранный способ программно-аппаратной и конструктивной реализации измерительных модулей, в качестве интеллектуальных датчиков с микропроцессорным управлением, позволяет использовать модули ком-

плекса автономно. Так, на унифицированной программно-аппаратной базе донной станции, был создан волнограф-мареограф. С его помощью проведены экспериментальные исследования и получены новые данные о временных рядах характеристик поверхностного волнения в районе Голубой бухты Черного моря, включающие характерные высоты волн, средние периоды, периоды спектрального пика, средние длины волн, длины волн спектрального пика. Все это, позволяет обеспечить минимальные затраты на создание донных станций, ориентированных на определенную проблему, на создание сети станций, и сокращает временные и ценовые затраты на создание новых измерительных комплексов, для других задач океанологии.

Для решения задач освоения континентального шельфа необходимо располагать данными о термо-гидродинамических и гидрохимических процессах происходящих у дна в обширных акваториях длительное время. В настоящее время, в широких масштабах ведутся поисковые и промышленные работы, осуществляется сброс отходов хозяйственной деятельности и нефтепродуктов при авариях судов, что ведет к значительному загрязнению вод шельфовой зоны и наносит экономический, экологический и социальный урон. В связи с изложенным, остро встает вопрос о необходимости изучения пространственно-временной структуры гидрофизических и гидрохимических полей и их изменчивости под действием различных причин, в том числе антропогенных, в шельфовой зоне моря. Такие исследования необходимы как с практической точки зрения, так и с научной, в частности, для разработки математических моделей шельфа. Для решения всех этих задач необходима разработка и создание нового поколения методов и инструментальных средств долговременного мониторинга состояния и взаимодействия вод и дна морей России. Все это, предполагает проведение измерений гидрофизических и гидрохимических параметров в толще вод и у дна, а также процессов химического массо-обмена на поверхности раздела «вода-дно», что может выполняться различными типами станций. В процессе исследований, была предложена возможность и целесообразность, разработки и создания станций, с блочно-модульной структурой. Это позволяет совместить измерение обоих типов параметров (гидрофизические и гидрохимические) в единой конструкции донной станции. Такая схема, существенно увеличивает функциональные возможности донных, в том числе геохимических, станций. При этом, сохраняется возможность функционального и технологического разделения измерений различных параметров. В процессе исследований, выполнен анализ достоинств и недостатков существующих автономных станций, и обос-

нованы требования, как к конструкции, так и функционированию донных станций. К основным требованиям, к донным станциям относятся: высокая надежность работы, постановки и подъема станции, максимально возможная простота изготовления, калибровки, подготовки к постановке, съема информации. Необходимы минимально возможные размеры и вес станции, минимально возможная стоимость изготовления и эксплуатации станции, соответствие международным стандартам по точности измеряемых параметров.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2019-0011) при поддержке РФФИ (проект №17-05-41041 «РГО-а», и проект № 18-05-60070 «Арктика»).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Torres, M.E., Wallmann, K., Tréhu, A.M., Bohrmann, G., Borowski, W.S., and Tomaru, H.** Gas hydrate growth, methane transport, and chloride enrichment at the southern summit of Hydrate Ridge, Cascadia margin off Oregon. *Earth and Planetary Science Letters*. 2004. 226: 225–241.

2. **Берлин Ю.М., Верховская З.И., Егоров А.В.** Газы донных осадков Балтийского моря. // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезы: материалы Всероссийской конференции «ГЕОС 2008» – Москва, 2008. – С. 72.

3. **Авилов В.И., Авилова С.Д.** Газобиогеохимические исследования в придонной среде акваторий // «Доклады Академии Наук». – 2009. – Т. 427 – №. 6. – С. 821–825.

4. **Вайнерман М.И., Минин М.В., Пономарев Л.О., Эделев О.К.** Многофункциональная подводная станция, обеспечивающая выполнение поисковых, научно-исследовательских работ, а также обследование грунтов при работе на глубоководных шельфовых месторождениях // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XII междунар. научн.-техн. конф. «МСОИ-2011» – Москва, 2011. – Т.2. – С. 28–30.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА АКВАТОРИЙ В СЕГМЕНТЕ ПРИДОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**Лискин В.А., Римский-Корсаков Н.А.**

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

Особое место в мониторинге акваторий занимает изучение процессов качественного и количественного массо-обмена на поверхности раздела «вода-дно» с использованием донных гидрохимических станций. Донные станции нового поколения, позволяют качественно и количественно оценить химический обмен на границе «вода-дно» путем прямых измерений потоков растворенных и газообразных компонентов.

A special place in the monitoring of water areas is occupied by the study of processes of qualitative and quantitative mass exchange at the surface of the water-bottom interface using bottom hydrochemical stations. The bottom stations of the new generation allow to qualitatively and quantitatively assess the chemical exchange at the water-bottom interface by directly measuring the flows of dissolved and gaseous components.

Организация мониторинга акваторий, в настоящее время, испытывает большие затруднения из-за ограниченной линейки необходимых технических средств, для выявления состояния прибрежных вод, путем выполнения синхронных измерений в течение продолжительного времени. В морях Российской Федерации, в особенности в районах, подверженных сезонным ледовым явлениям, возможности натуральных наблюдений и научных исследований, включая спутниковую океанологию, в настоящее время ограничены. Разрешить сложившуюся ситуацию возможно путем организации мониторинга, на основе распределенных сетей долговременных автономных станций, обладающих необходимым набором измерительных средств и средств дистанционной передачи результатов измерений на береговые или мобильные (суда) посты.

Особое место в мониторинге акваторий занимает изучение процессов качественного и количественного массо-обмена на поверхности раздела «вода-дно» с использованием донных гидрохимических стан-

ций. Донные станции нового поколения, позволяют качественно и количественно оценить химический обмен на границе «вода-дно» путем прямых измерений потоков растворенных и газообразных компонентов. Газы и другие химические компоненты, выделяемые и поглощаемые донными отложениями, являются отражением постседиментационных процессов, процессов, связанных с формированием месторождений твердых полезных ископаемых, нефти и газа, а также результатов антропогенного воздействия на среду. Они могут быть зафиксированы в растворенном или газообразном состоянии в придонной воде. На этом основан метод донных камер, позволяющий количественно оценить химический обмен на границе «вода-дно», путем прямых измерений потоков растворенных и газообразных компонентов. Получаемые таким образом данные являются фундаментом для изучения придонного химического массо-обмена, ответственного за осадконакопление и биопродуктивность акваторий, для оценки и прогнозирования антропогенного воздействия на экологию, для изучения и оценки месторождений полезных ископаемых на основе анализа углеводородных эманаций.

Разработка и изготовление многоцелевой донной автономной станции модульной конструкции нового поколения с неограниченной глубиной погружения, допускает применение ее в нескольких вариантах. При этом, будут использоваться уже разработанные методы создания океанологической техники, образцы которой на протяжении многих лет успешно применяются в разнообразных исследовательских проектах по фундаментальной и прикладной тематике, в т.ч. в международных экспериментах. При создании донной станции, будет использована концепция «интеллектуальных датчиков» и модульный принцип, позволяющие компоновать ее в нескольких вариантах: как донную гидрофизическую, донную гидрохимическую или притоленную гидрофизическую станцию. Построение станции основано на использовании ряда унифицированных измерительных модулей – интеллектуальных датчиков, которые объединяются в единую информационную сеть. К ним относятся унифицированные микроэлектронные схемы и микропроцессорные узлы, конструкционные узлы измерительных модулей, гидроакустический комплекс для передачи данных, интеллектуальный комплекс управления работой станции, накопления и обработки измеренных данных, оборудование для постановки и подъема станции. Для оперативного контроля и управления режимами работы станций используется гидроакустическая телеметрия и микропроцессорные технологии.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2019-0011) при поддержке РФФИ (проект №17-05-41041 «РГО-а»), и проект № 18-05-60070 «Арктика»).

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Егоров А.В., Рожков А.Н.** Формирование залежей газовых гидратов в подводных грязевых вулканах // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. 2010. № 5. С. 103–113.

2. **Вайнерман М.И., Минин М.В., Пономарев Л.О., Эделев О.К.** Многофункциональная подводная станция, обеспечивающая выполнение поисковых, научно-исследовательских работ, а также обследование грунтов при работе на глубоководных шельфовых месторождениях // Материалы XII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2011» – Т.2 «Современные методы и средства океанологических исследований» Москва, 2011. – С. 28–30.

3. **Розанов А.Г., Вершинин А.В., Егоров А.В.** Исследование химического обмена на границе вода-дно в Голубой бухте Черного моря // Водные ресурсы. 2010. Т. 37. № 3. – С. 341-350.

4. **Суконкин С.Я.** Технология подводных исследований и поисковых работ, подводные аппараты и роботы // Материалы XII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2011» – Т.2 «Современные методы и средства океанологических исследований» Москва, 2011. – С. 20–21.

УДК 551.46.09

### **СОЗДАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ХИМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ ВЕЩЕСТВА В ПРИДОННОЙ ОБЛАСТИ АКВАТОРИЙ**

**Римский-Корсаков Н.А., Лискин В.А., Егоров А.В.**

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

Представлено описание разрабатываемой аппаратуры в составе подводного телеуправляемого донного комплекса, для измерения химических потоков вещества в придонной области акваторий, для автоматизированной оценки аномалий содержания метана в морских осадках, а также, для обнаружения и оценки ресурсов морских газогидратных месторождений.

A description is given of the equipment being developed as part of an underwater remote-controlled bottom complex, for

measuring chemical flows of matter in the near-bottom area of water areas, for automated assessment of methane abnormalities in marine sediments, as well as for detecting and evaluating resources of marine gas hydrate deposits.

Особое место в исследованиях и мониторинге океанов и морей занимает изучение процессов качественного и количественного массообмена на поверхности раздела «вода-дно». Газы и другие химические компоненты, выделяемые и поглощаемые донными отложениями, являются отражением постседиментационных процессов и процессов, связанных с формированием месторождений твердых полезных ископаемых, нефти и газа, а также степени антропогенного воздействия на среду. Они могут быть зафиксированы в растворенном или газообразном состоянии в придонной воде. На этом основан метод донных камер, позволяющий с помощью донных станций, количественно оценить химический обмен на границе «вода-дно», путем прямых измерений потоков растворенных и газообразных компонентов. В этой связи, разработка инструментальных средств нового поколения для исследований придонных процессов, в том числе, измерения химических потоков вещества и исследования газовых гидратов, очевидна.

Представлено описание разрабатываемой аппаратуры в составе подводного телеуправляемого донного комплекса, для измерения химических потоков вещества в придонной области акваторий, для автоматизированной оценки аномалий содержания метана в морских осадках, а также, для обнаружения и оценки ресурсов морских газогидратных месторождений. 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 гидрохимических данных, работающего в составе донной станции. 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, донного грунта и др. Проведены промежуточные испытания блоков и устройств, модернизированной конструкции подводного телеуправляемого донного комплекса, отвечающего требованиям расширенных функциональных возможностей, в том числе, по изучению газовых гидратов,

надежности и удобства эксплуатации. Новизна предложенных решений состоит в разработке системной концепции проведения работ по изучению придонных процессов (в том числе газовых гидратов) на дне 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, что значительно повышает точность количественных расчетов потоков химических элементов через морское дно. Это направление работ относится к самым современным направлениям исследований, кроме прочих, проблемы газовых гидратов на дне Мирового океана.

Научная и практическая значимость заключается в открывающихся возможностях исследований и оценок ресурсов метана, связанного в газоды гидраты, находящиеся в морских осадках, и являющихся источником экологически чистой энергии в будущем. Все это, стимулирует развитие новых технологий, которые могут быть использованы и для других задач, связанных с изучением окраинных морей. В частности, подводные телеуправляемые донные комплексы могут быть использованы при экологическом мониторинге акваторий.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2019-0011) при поддержке РФФИ (проект №17-05-41041 «РГО-а», и проект № 18-05-60070 «Арктика»).

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Макагон Ю.Ф.** К вопросу о ресурсах газа в гидратном состоянии // Газовые гидраты в экосистеме Земли. Тезисы докладов. – Новосибирск, 2003. – С. 53-56.

2. **Смирнов Г.В., Аистов Е.А., Оленин А.Л.** Многоканальный гидролого-оптикохимический комплекс // Материалы XII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2011» – Т.1 «Современные методы и средства океанологических исследований» – Москва, 2011. – С. 104-106.

3. **Егоров А.В., Рожков А.Н., Черняев Е.С.** Методы исследования тепловых эффектов при формировании и разложении газовых гидратов в глубоководных условиях // Материалы XIII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2013» – Т.1 «Современные методы и средства океанологических исследований» – Москва, 2013. – С. 285-288.

4. **Соловьев В.А.** Природные газовые гидраты как потенциальное полезное ископаемое // Российский химический журнал. – 2003. – Т. 47. – №3. – С. 59-69.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАНА В АКВАТОРИЯХ

**Егоров А.В., Римский-Корсаков Н.А.**

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

Рассмотрены особенности изучения метана в акваториях, обусловленные спецификой поставленных задач. Ресурсной – поиски залежей нефти, газа, газовых гидратов. Ролью метана в изменении климата. А также с участием метана в различных физических и биогеохимических процессах, где он часто выступает в роли трассера.

Features of the study of methane in the waters, due to the objectives of the research are discussed. Resource meaning – search for deposits of oil, gas, gas hydrates. The role of methane in climate change. And also with the participation of methane in various physical and biogeochemical processes, where he often acts as a tracer.

Рассмотрены методические особенности изучения метана в **акваториях, обусловленные как спецификой задач, так и спецификой акваторий**. Важнейшей задачей является ресурсная, связанная с прямыми геохимическими методами поисков залежей нефти, газа, газовых гидратов. Другая задача, обусловлена ролью метана в изменении климата. Как известно метан является парниковым газом с высокой активностью. Обмен метаном между гидросферой и атмосферой влияет на баланс метана в атмосфере. И, наконец, метан принимает участие в различных физических и биогеохимических процессах, где он часто выступает в роли трассера.

Метан может находиться в природных водах в различных фазовых состояниях: в виде раствора, в газовой фазе – в виде пузырей, в твердой фазе в виде газовых гидратов. Фазовое состояние зависит как от внешних параметров, так от концентраций метана в воде. Так при малых концентрациях метан всегда остается в растворенной форме. При высоких концентрациях он может находиться в газовой или твердой фазе. Как правило, с глубиной акватории растет давление и падает темпера-

тура, что увеличивает растворимость метана. Как результат в природных условиях воды сильно недонасыщенны метаном, что приводит к интенсивному растворению метановых пузырей попадающих в гидросферу из осадка.

Природа метана в основном связана с микробными процессами. В водной толще, как и в донных осадках, метан может, как образовываться при разложении органического вещества, так и окисляться. Важным фактором является содержание молекулярного, а также связанного кислорода. В водной толще из-за присутствия кислорода метан в основном окисляется. В донных осадках с глубиной кислород исчезает, и разложение захороненного органического углерода идет по пути метаногенерации. В условиях высоких скоростей осадконакопления и высокого содержания органики суммарная генерация метана может стать высокой, и он будет переходить в самостоятельную фазу, образуя залежи газа или газовых гидратов.

Описываются типичные поля концентрации метана, возникающие в различных обстановках, и предлагаются методы для адекватного их исследования. В частности рассмотрены Черное море, абиссальная часть мирового океана, прибрежные условия, нефтегазоносные районы, арктические моря и пресноводные акватории. Рассматривается роль временной изменчивости различного генезиса.

Работа выполнена при поддержке государственной программы по теме 0149-2019-006, тема №0149-2019-0011) при поддержке экспедиционных исследований РФФИ (проект №17-05-41041 «РГО-а», и проект №18-05-60070 «Арктика»).

УДК 553.982:532.546:536.421

## **МЕТОДЫ ТЕМПЕРАТУРНЫХ И ГАЗОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЗОНЕ ПОВЫШЕННОЙ ТЕРМАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ОЗЕРА БАЙКАЛ**

**Егоров А.В.<sup>1</sup>, Рожков А.Н.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01, avegorov@ocean.ru*

<sup>2</sup> *Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН,  
пр. Вернадского, 101 (к.1), 119526, г. Москва, 8(495)434-33-52, rozhkov@ipmnet.ru*

Объектами исследования являются поля концентраций растворённого метана в придонных слоях и донные градиенты температуры в зоне высокой термальной активности. Измере-

ны концентрации растворённого метана на расстоянии 1 и 10 метров от дна и в этих же координатах проведены измерения температуры в осадке.

The objects of study are the fields of concentrations of dissolved methane in the bottom layers and bottom temperature gradients in the zone of high thermal activity. The concentrations of dissolved methane were measured at a distance of 1 and 10 meters from the bottom and the temperature in the bottom sediment was measured at the same coordinates.

Исследования термальной активности и, возможно, связанных с ней аномалий распределения концентрации придонного метана [0] проведены с помощью ГОА «Мир» в районе Губы Фролиха. Погружения состоялись 21 июля 2010 г. (55°30.912 с.ш., 109°45.25 в.д.), 23 июля 2010 г. (55°30.92 с.ш., 109°46.04 в.д.) и 25 июля 2010 г. (55°30.05 с.ш., 109°46.05 в.д.). Фактически речь идёт об исследовании одного и того же района озера Байкал. Глубина дна в этом районе составляет 400–500 м. Дно здесь сравнительно ровное. Отличается относительно высокой биологической активностью.

Температура измерялась температурным зондом (рис. 1а). Глубина грунта, на котором измерялась температура,  $\Delta x$  оценивалась визуально по фотографиям зонда, вставленного в грунт (рис. 1б). Температурный градиент определялся как разность температур в грунте (в осадке)  $T_{\text{грунт}}$  и на поверхности грунта (т.е. в придонной воде)  $T_{\text{вода}}$ , делённая на глубину измерения  $\Delta x$ :  $(\text{grad}T)_0 = (T_{\text{грунт}} - T_{\text{вода}}) / \Delta x$ .

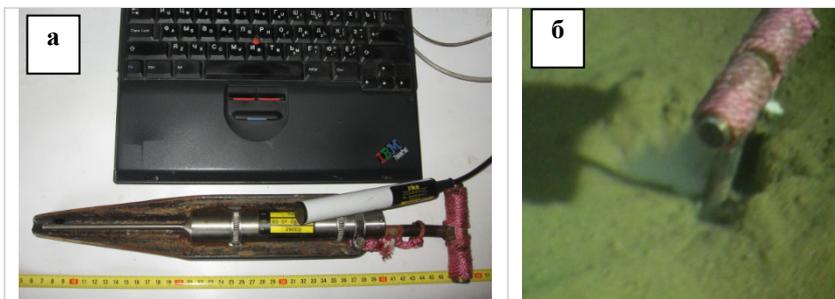


Рис. 1. Температурный зонд в снаряжённом состоянии и оборудование для переноса данных (а). Зонд в грунте (б)

В погружениях использовались три способа отбора проб для последующего хроматографического анализа. Первый способ представлял собой отбор с помощью штатного батометра ГОА «Мир». Другой способ заключался в отборе проб воды путём втягивания воды шприцем. Пять шприцев крепились в кассету (кассета шприцов – КШ), как показано на рис. 2, а-г.

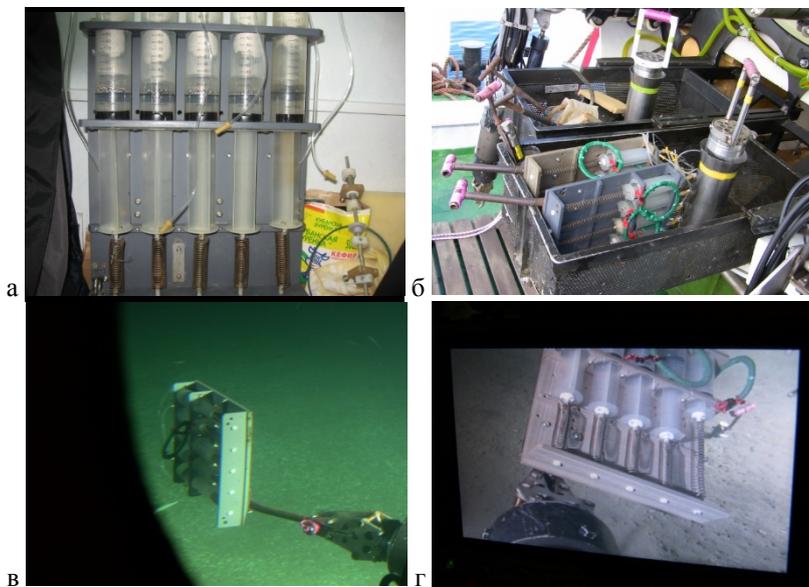


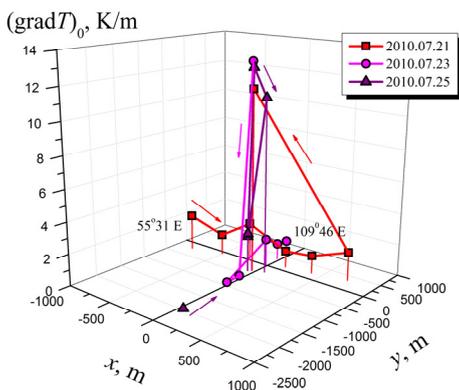
Рис. 2. Кассеты шприцов КШ

Первоначально шприцы приводились во взведённое состояние, путём перемещения поршня внутрь шприца до упора.

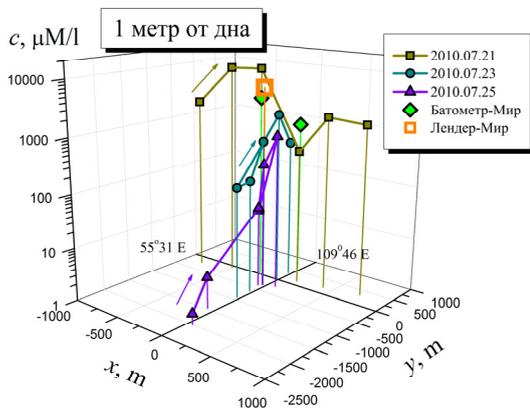
При этом растягивалась пружина, которая предназначена для втягивания поршня из шприца, когда требуется втянуть воду в шприц. Для поддержания шприца во взведённом состоянии тонкая фиксирующая проволока удерживала поршень от перемещения. В заданный момент фиксирующую проволоку разрывали, и под действием упругости пружины поршень перемещался в шприце, втягивая окружающую воду. Для разрыва фиксирующей проволоки к ней крепилось кольцо (зелёное на рис. 2г). Свободная механическая рука ГОА цепляла и тянула кольцо, фиксирующая проволока разрывалась, и вода втягивалась в шприц.

Третий способ отбора проб включал в себя использование донной станции Лендер [0], которая позволяла проводить отбор проб воды в заранее запрограммированные моменты времени. Использовался портативный вариант Лендер-Мир, адаптированный для работы с ГОА «Мир».

Результаты обработки температурных и концентрационных данных представлены на рис. 3а-б. Измеренный температурный градиент почти во всех точках заметно превосходит стандартное значение 0.030 К/м, которое соответствует земному температурному градиенту – 30 градусов на километр.



а



б

Рис. 3. Температурный градиент (а) и концентрация растворённого метана (б) как функции координат

Измерения концентрации метана также дают повышенные значения во всех пробах. Порядок величин совпадает с повышенной концентрацией растворённого метана в придонном слое в районе залежи гидратов метана на полигоне Санкт-Петербург озера Байкал [0]. В целом, главный результат работы – выявлена тенденция увеличения придонной концентрации метана на расстоянии 1 метр от дна с ростом донного температурного градиента.

Статья подготовлена в рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН №1.2.49 и государственных заданий № АА-АА-А17-117021310375-7, 0149-2019-000.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Егоров А. В., Рожков А. Н.** Формирование залежей газовых гидратов в подводных грязевых вулканах // Изв. РАН. МЖГ. – 2010. – № 5. – С. 103–113.

2. **Егоров А. В., Римский-Корсаков Н. А., Рожков А. Н., Белевитнев Я. И.** Опыт использования Лендера ИО РАН в прибрежных водах Черного моря // Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции МСОИ-2017. 2017. С. 323–326.

3. **Егоров А.В., Рожков А.Н.** Онлайн газометрия в озере Байкал. // Геология морей и океанов: Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. II. – М.: ГЕОС. 2015. С. 40–43.

### III. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 634.67

#### ТЕХНОЛОГИЯ СИСТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ОБСТАНОВКИ В АРКТИКЕ

**Гитис В.Г., Дерендяев А.Б., Петров К.Н., Вайншток А.П.**

*Институт проблем передачи информации им. А.А.Харкевича РАН  
127051, Б. Каретный пер. 19, г. Москва,  
8(499)699-50-96, gitis@iitp.ru*

Технология объединяет два уровня анализа геоданных: первый уровень поддерживает автоматическую обработку

данных и простые инструменты анализа. Второй уровень предназначен для детального анализа данных. Платформа поддерживает два приложения: (1) анализ климатических процессов и (2) оперативный прогноз.

The technology combines two levels of the geodata analysis. The first level supports automatic data processing with simple analytical tools available to a wide range of users. The second level supports comprehensive analysis of hypotheses that experts can formulate at the first level. The platform supports two applications: (1) analysis of climatic processes and (2) operative forecast.

Мониторинг природных и антропогенных процессов применяется для регулярного наблюдения, оценивания и прогноза состояния окружающей среды. Решение этих задач основано на методах анализа больших объемов разнотипных пространственных и пространственно-временных данных. Особенности таких данных требуют применения специализированных методов и технологий, которые реализуются в сетевых ГИС.

Рассматриваемый подход объединяет автоматический анализ данных, доступный любому интернет пользователю, с детальным анализом, выполняемым специалистом. Тем самым ГИС-платформа удобна для всех пользователей. Они получают ознакомительную информацию о процессах в Арктике и имеют возможность выполнять научные исследования.

Технология мониторинга Арктики реализуется на сетевой платформе, состоящей из двух сетевых ГИС ([2,3] <http://distcomp.ru/geo/arctic>). ГИС ГеоМонитор построена в клиент-серверной архитектуре с тонким клиентом. Она поддерживает автоматический ввод и обработку данных, наглядное представление пространственно-временных процессов и морских транспортных средств, измерение значений гидрометеорологических полей и атрибутов точечных данных, а также формирует задание и запускает на удаленном сервере моделирование разлива углеводородов. ГИС ГеоТайм 3 имеет клиент-серверную Java архитектуру с толстым клиентом. Она запускается с ГИС-проектом, автоматически подготовленным ГИС ГеоМонитор, и поддерживает функции детального анализа пространственно-временных процессов. При этом пользователь может дополнительно загружать в ГеоТайм 3 картографические основы в виде тайловых слоев и данные с произвольных удаленных серверов и своего ПК в форматах shape, grid, flt.

Кроме того, пользователь может сохранять результаты работы в виде персонального ГИС-проекта.

Таким образом, платформа объединяет в себе простоту и доступность анализа в технологии с тонким клиентом с возможностями выполнения комплексного исследования данных в клиент-серверной архитектуре с толстым клиентом. Пользователи получают два уровня анализа данных: (1) выполняемый в географическом контексте Google Maps API экспресс-анализ природных и техногенных процессов, предназначенный для специалистов и вместе с тем доступный для широкого круга пользователей, и (2) детальный анализ пространственных и пространственно-временных процессов, который выполняется специалистами. Тем самым ГИС-платформа существенно расширяет круг пользователей, предоставляя им как ознакомительную информацию о процессах в Арктике, так и возможность выполнения научных исследований. Платформа обеспечивает доступ пользователей к анализу трех типов пространственных и пространственно-временных данных: архивным данным реанализа, оперативным наблюдениям и прогнозу. Эти данные представлены сеточными полями, полигонами и точечными полями.

Информационные ресурсы (ИР) платформы загружаются с удаленных серверов. Они включают в себя:

1. Данные реанализа ERA-Interim за период 1979-2016 гг. (ECMWF).
2. Выборка данных оперативного среднесрочного (0-120 час) прогноза метеорологических полей GFS, NCEP/NOAA (ФГБУ "Гидрометцентр России").
3. Информация о движении судов (Администрация северного морского пути).
4. Данные оперативного прогноза скорости обледенения кораблей (по алгоритмам Over-land and Pease at the Pacific Marine Environmental Research Laboratory, National Centers for Environmental Prediction).
5. Оперативные ледовые карты Северного Ледовитого океана (Арктический и антарктический НИИ).
6. Прогнозные данные моделирования разлива углеводородов (Государственный океанографический институт).
7. Каталоги землетрясений (International Seismological Centre, ISC, <http://www.isc.ac.uk>).
8. Тайловые карты Google Maps.

На стартовой странице платформы пользователь может выбрать одно из трех приложений.

Первое приложение запускает ГИС ГеоМонитор с блоком анализа климатических процессов в Арктике за последние 37 лет.

Поля климатических показателей вычисляются по следующим гидрометеорологическим характеристикам: (1) температура подстилающей поверхности [К]; (2) температура воздуха на высоте 2 м [К]; (3) приземное давление [гПа]; (4) сплоченность льда (отношение площади, занятой льдом, к общей площади ячейки сеточного поля); (5) дивергенция поля скорости ветра на высоте 10 м; (6) ротор поля скорости ветра на высоте 10 м. Последние две характеристики вычислены по меридиональной и зональной составляющим скорости ветра [м/с]. Поля этих показателей представлены в ГИС ГеоМонитор в широтном интервале от 55° до 85° с.ш. с сеткой 0.75°×0.75°×30 суток. Данные относятся к следующим трем временным интервалам: T1=01.01.1979 – 01.01.1998 гг., T2=01.01.2006 – 01.01.2015 гг. и T3=01.01.1979 – 01.01.2015 гг. Для каждого месяца и для каждой из перечисленных выше гидрометеорологических характеристик ГИС ГеоМонитор представляет карты полей по следующим четырем климатическим показателям: (1) средние месячные значения на интервалах T1 и T2, (2) среднеквадратичные отклонения значений на интервалах T1 и T2, (3) значимости изменения средних значений характеристик на интервалах T1 и T2, оцениваемые по статистике Стьюдента, и (4) тренды характеристик на интервале T3.

Второе и третье приложения запускают ГИС ГеоМонитор с блоками анализа оперативной и прогнозной обстановки в регионе Баренцева и Белого морей и в регионе Берингова моря. Для авторизованного пользователя ГИС ГеоМонитор поддерживает анализ распространения нефти или нефтепродуктов при разливах углеводородов.

Пример представления оперативных данных в регионе Берингова моря показан на рис. 1.

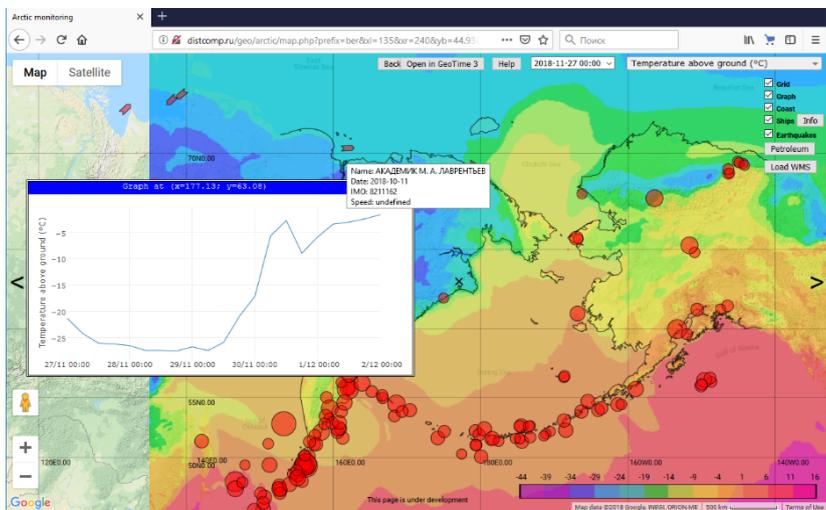


Рис. 1. Рабочее окно системы: срез пространственно-временного поля температуры воздуха на высоте 2 м на 27.11.2018 00:00 и график прогноза температуры. Точка анализа помечена крестом

Работа выполнена в Институте проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской Академии наук, Государственном океанографическом институте им. Н.Н.Зубова и Гидрометцентре России при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований, проекты 16-07-00326 и 17-07-00494.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Dangermond J.** Geodesign and GIS—designing our futures //Peer Reviewed Proceedings of Digital Landscape Architecture, Anhalt University of Applied Science, Germany. 2010.
2. **Gitis, V., Derendyaev, A., Weinstock, A.** Web-based GIS technologies for monitoring and analysis of spatio-temporal processes. // International Journal of Web Information Systems. 2016. 12(1), 102–124.
3. **Gitis V.G., Derendyaev A.B., Petrov K.N., Weinstock A.P., Dumanskaya I.O., Zatsopa S.N., Zelenko A.A., Ivchenko A.A., Nesterov E.S.** Technology of Monitoring and Analysis of the Hydrometeorological Situation in the Arctic. // Journal of Communications Technology and Electronics. 2018 Jun 1; 63(6): 691-705.

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ ГИДРОЛОГО-АКУСТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЧИСЛОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ**

**Гасников О.А.**

*АО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт»,  
Кожевенная линия, 199106, Санкт-Петербург,  
Тел.: +7(812)322-21-13 Факс.: +7(812)322-33-19  
E-mail: mail@ngingi.ru*

В статье рассматривается новый метод обработки океанографических данных. Приведён пример расчёта для одного из регионов Норвежского моря по данным ARGO. Показано, что метод на основе анализа числовых последовательностей полностью применим к оценке гидроакустических условий.

A new method for processing oceanographic data is proposed. An example of calculation for one of the regions of the Norwegian Sea is given using the data of the buoy ARGO. It is shown that the automated processing of them on the basis of the analysis of numerical sequences is fully applicable to the evaluation of hydro-acoustic conditions.

Информационное обеспечение является одним из основных видов обеспечения морской деятельности. Совершенствование системы представления информации о параметрах среды Мирового океана, в том числе, в навигационно-гидрографических приложениях, разработка новых обобщенных подходов к обработке информации и ее междисциплинарный синтез являются одними из ведущих тенденций обеспечения устойчивого развития системы информационной поддержки принятия решений по обеспечению действий ВМФ в Мировом океане.

К сожалению, разработка методов специализированной обработки получаемых данных не всегда успевает следовать за возросшим потоком поступающей информации. Использование некоторых методов интеллектуального анализа данных (Data mining) может быть весьма востребовано в решении данного вопроса [1].

Целью настоящей работы является развитие методов обработки океанографической информации в интересах подводной локации, связи, гидрографии, деятельности по освоению богатств Мирового океана, обороны и т.д.

Представим данные наблюдений над скоростью звука в дискретных точках в виде числовой последовательности. В некоторых случаях она может представлять собой монотонно возрастающий (убывающий) или периодический ряд. Здесь можно говорить о некотором порядке в чередовании значений. В иных случаях такой порядок может отсутствовать, уступив определенной хаотичности в данных наблюдений.

Рассмотрим все тройки соседних значений. Подсчитаем число случаев с локальными экстремумами (присвоим им код -1) и число случаев с убыванием или возрастанием значений (код – 0).

При этом принятая схема параметризация последовательности, а под параметризацией мы будем понимать извлечение из данных наблюдений минимального набора наиболее существенных признаков, характеризующих интересующую нас систему или процесс, и расчет на ее основе не делает различия между минимумом и максимумом, возрастающие и убывающие ряды. Данный недостаток можно устранить, если вычислять “пакетные” энтропии. Рассмотрим пакеты из двух символов – 00,01,10,11. Применительно к вышеприведенному примеру сопоставим отрицательной разности двух соседних пар последовательности – 0, положительной – 1. Тогда данной последовательности будет соответствовать новая двоичная последовательность из нулей и единиц, в которой пары соседних членов будут представлены одним из возможных вариантов.

При анализе ВРСЗ особое внимание уделяется выявлению так называемых опорных точек и оценке их влияния на формирование гидролого-акустических явлений (ГАЯ), связанных с рефракцией звуковых лучей при действии источника звука в заданном слое и обусловленных определенной закономерностью вертикального распределения скорости звука. Опорные точки кривой делят толщу водной среды на макрослои с градиентами скорости звука постоянного знака. Они подразделяются на основные (ООТ) и дополнительные (ДОТ). К первой группе относятся начальная, конечная и экстремальные (точки смены знака градиента) точки ВРСЗ. Опорные точки второй группы разделяют слои с градиентами одного знака, отличающиеся друг от друга лишь величиной градиента скорости звука [2].

Предложенная двухсимвольная параметризация хорошо фиксирует экстремумы и участки монотонного убывания/возрастания значений.

Добавим в пакет еще одну позицию, которая отвечает за разность значений градиентов в соседних слоях. Мы будем иметь восемь вариантов пакетов (110,111,101,010,100,011,001,000). На рисунке 1 приведено их графическое представление и символическое обозначение.

Полученные пакеты представляют собой в последовательности определенный набор событий (A, B, C, D, E, F, G, H), характеризующий собой тот или иной процесс (систему). Анализ такого рода последовательностей – это достаточно новое направление анализа данных, интенсивно развивающееся примерно со второй половины 20-го века, преимущественно в молекулярной биологии, теории лингвистики, маркетинговых исследованиях, т.е. в тех областях, где количество данных растет в экспоненциальном порядке. Оказалось, что с ними можно работать, как с обычными данными наблюдений и технология их обработки стала одним из элементов data mining – совокупности методов обнаружения в данных ранее неизвестных и практически полезных, доступных интерпретации знаний, необходимых для принятия решений в различных сферах человеческой деятельности. Попробуем применить этот аппарат к анализу ВРСЗ. В качестве тестового образца использовались данные 95 зондирований буев АРГО в центральной части Норвежского моря.

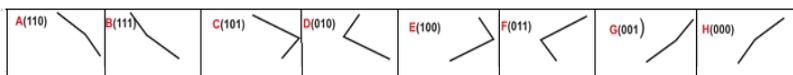


Рис.1. Варианты типовых пакетов формирования ИСС

Основная проблема анализа последовательностей состоит в формализации процедуры оценки различия между двумя произвольными последовательностями. Тут возможно несколько путей решения задачи – вычисление расстояния по Хеммингу, или числа несовпадающих позиций; выделение длины совпадающей части с начала последовательности или максимальной длины общей; оценка метрики Левенштайна, т.е. суммарной “стоимости” преобразования одной последовательности в другую. Нами был выбран последний вариант, реализованный в ряде статистических программ [3].

После того, как мы рассчитали матрицу расстояний, можно использовать практически любые методы кластеризации. Нами была использована иерархическая кластеризация, позволяющая контролировать этот процесс на каждом шаге.

В результате было получено шесть классов или типов гидролого-акустических условий. Проведенный анализ этих групп показал, что

кластеры характеризуются однородностью. Различия между типами ГАУ достаточно существенны.

По итогам работы можно сделать следующие выводы:

1. Разработка методов специализированной обработки данных в настоящее время не успевает следовать за возросшим потоком поступающей информации. Использование методов интеллектуального анализа данных (Data mining) может быть весьма востребовано в решении данного вопроса.

2. Автоматизированная обработка океанографических данных на основе анализа числовых последовательностей и расчета энтропии вполне применима для оценки гидролого-акустических условий.

3. Предложенная технология обработки данных может быть использована для районирования различных акваторий Мирового океана. Особенно это актуально для зон с активными динамическими процессами – прибрежных вод, мелководья и районов фронтальных разделов.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Барсемян А. А.** Анализ данных и процессов / А. А. Барсемян. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2009. – 512 с.

2. **Филин В.А.** Статистическая модель интерпретации многолетних материалов зондирования гидросферы и атмосферы [Текст]: статья / В.А.Филин, Г.М.Дегтярев, А.Г.Колесников // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – М.: Гидрометеоздат, 1976. – Вып. 33. – С. 58–66.

3. **Горбач А. Н., Цейтлин Н. А.** Покупательское поведение: анализ спонтанных последовательностей и регрессионных моделей в маркетинговых исследованиях. – Киев: Освіта України, 2011. – 298 с.

**ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ВИЗУАЛИЗАЦИИ И  
ПОСТПРОЦЕССОРНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ  
ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ БИОРЕСУРСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
«ТИНРО-ЦЕНТРА»**

**Убарчук И.А., Кузнецов М.Ю., Поляничко В.И.**

*ФГБНУ «ТИНРО-Центр»,  
пер. Шевченко, 4, 690091, г. Владивосток,  
8(423)240-13-56, vladimir.polyanichko@tinro-center.ru*

Представлено описание программного комплекса, созданного для исследования и оценки водных биологических ресурсов. Программные средства обеспечивают визуализацию акустических изображений гидробионтов и их обработку с расчетом численности и биомассы рыб по видам, размерам и глубине.

The description of the software package created for the study and assessment of aquatic biological resources is presented. This software is provide visualization of acoustic images of hydrobionts and their processing with the calculation of the number and biomass of fish by species, size and depth.

Акустический метод для исследования запасов гидробионтов широко распространен в настоящее время. Он имеет преимущества по сравнению с другими инструментальными методами оценки биоресурсов в части скорости и непрерывности обзора, а также позволяет дистанционно обследовать большие площади водной среды за относительно короткий временной промежуток и измерять с высоким разрешением не только горизонтальное, но и вертикальное распределение гидробионтов.

Основой технологии гидроакустической оценки запасов является измерение силы обратного поверхностного рассеяния от скопления и использование экспериментально определенной зависимости силы цели гидробионтов от их зоологической длины с поддержкой биологическими измерениями [1]. В мировой практике съемок для просмотра и интерпретации акустических данных используются различные специализированные системы постпроцессорной обработки, такие как Echoview, LSSS, Sonar 4, 5. Эхограммы (акустические изображения) регистрируются эхолотом Simrad в виде файлов в формате RAW и являются пред-

метом манипулирования, пороговой и структурной декомпозиции, удаления шума и проверки наличия ошибок программными средствами. Как правило, группа квалифицированных операторов интерпретирует акустические данные, рисуя слои и оконтуривая косяки на эхограмме, отображенной на экране компьютера. Дополнительное использование данных биологических измерений позволяет операторам выделить акустические изображения, принадлежащие различным видам и группам рассеивателей.

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр (ТИНРО-Центр) выполняет тралово-акустические съемки по оценке запасов биологических ресурсов на значительной акватории северо-западной части Тихого океана, включая Берингово, Охотское и Чукотское моря. Для исследовательских целей используются научные суда типа «Атлантик 833», с установленными на них эхолотами Simrad EK-60. Обработка акустических данных выполняется с использованием собственного специализированного программного комплекса, состоящего из двух основных элементов и нескольких вспомогательных программ:

1. Программа «SALTSE» [2] – предназначена для многовидовой пост-процессорной обработки данных. Программа выполняет интерактивную обработку накопленных RAW-файлов данных, позволяет загрузить и отобразить на экране монитора одновременно несколько файлов эхограмм, выделять на эхограмме области (слои) для обработки, отображать гистограммы по силе цели для выделенных одиночных целей в выбранном слое, гистограммы по длине, пересчитанной из силы цели одновременно для нескольких объектов. Программа рассчитывает и сохраняет в форматах, пригодных для дальнейшей обработки (программами электронных таблиц и др.) значения коэффициента обратного поверхностного рассеяния  $s_A$  [3], распределения численности и биомассы как по размерным рядам, так и по глубине. Программа использует собственно RAW-файлы, а также биологические и другие данные из БД и наряду с эхограммой отображает их посредством отдельных окон (модулей), являющихся составными частями ее интерфейса (рис. 1). Это позволяет сконцентрировать «в одном месте» всю информацию, необходимую для проведения качественного анализа эхограмм.

Окно «Echogram» (рис. 1) – главное окно программы, отображается акустическое изображение (эхограмма), соответствующая загруженному файлу (или группе файлов).

Окно «Interpretation»: задаются качественные характеристики выделенного слоя, а также параметры, необходимые для расчета и сохранения значений  $S_a$ ,  $S_m$ , численности и биомассы.

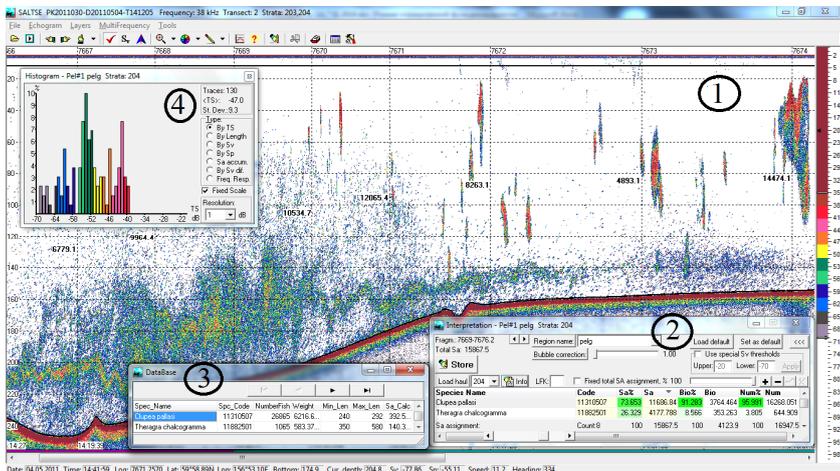


Рис. 1. Интерфейс программы «SALTSE»: 1 – окно «Echogram»; 2 – окно «Interpretation»; 3 – окно «DataBase»; 4 – окно «Histogram»

Окно «DataBase»: отображается информация об улове (вид, вес, количество особей, минимальный и максимальный размер, Sa, рассчитанный по улову) в выбранном тралении.

Окно «Histogram»: отображает гистограмму по значениям компенсированной силы цели для эхотреков, выделенных в текущем слое, а также по длине рыб, пересчитанной из компенсированной силы цели эхотреков, по объёмному рассеянию Sv в текущем слое, по рассеянию на одиночных целях Sp; показывает накопление Sa в зависимости от изменения нижнего порога интегрирования.

1. С использованием «SALTSE» можно воспроизводить эхограмму и сопутствующую ей информацию в любой точке обследованной акватории в реальном масштабе времени.

2. Интегрированная база данных в среде Access – база данных акустических, навигационных и биологических измерений. Содержит справочные и вспомогательные таблицы, биологические данные (по результатам контрольных тралений), данные сопровождения акустических измерений, данные с результатами эхоинтегрирования, гидрологические данные.

3. BIFiles – эта вспомогательная программа предназначена для манипулирования файлами эхограмм – сжатие, преобразование, исправление и т.д.

4. Программа Sumfiles – используется для суммирования файлов с результатами постпроцессорной обработки (старые файлы с расширением Sa, Sm, Bio, Num, B–L, N–L или новые с расширением FAM). Файлы объединяются по типу данных, типу слоя и виду объекта, а также преобразуются в формат CSV для последующей обработки в Excel.

5. Программа TxtConvert – предназначена для преобразования и дополнительной обработки файлов распределения численности и биомассы, получаемых в результате постпроцессорной обработки эхограмм и суммирования. Программа преобразует данные в формат, необходимый для построения карт распределения гидробионтов по глубине, позволяет забросить данные по квадратам координационной сетки с заданным шагом, вычислять характеристики вертикального распределения объекта.

6. Sounder – программа для приема и обработки телеграмм GPS, тралового зонда, ведения галсового листа и журнала событий. В главном окне программы содержится информация о координатах, курсе и скорости судна, приводятся текущие значения лага и глубины, а также расстояние и время до точки назначения.

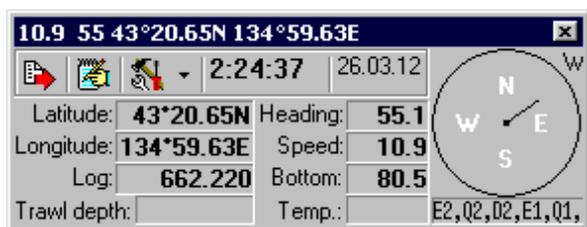


Рис. 2. Окно программы «Sounder»

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Кузнецов М.Ю.** Гидроакустические средства и технологии их использования при проведении биоресурсных исследований ТИНРО-Центра // Изв. ТИНРО. – 2013. – Т. 172. – С. 20–51.

2. **Убарчук И.А., Ермольчев В.А.** Программа для ЭВМ «SALTSE» (Scattering Area Coefficient, Length and Target Strength Estimation). – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015613954. – 2015. – 1 с.

3. **MacLennan D.N., Fernandes P.G., Dalen J.** A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics // ICES Journal of Marine Science, 2002. – Vol. 59. – P. 365–369.

## ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ СРЕДСТВАМИ ЕСИМО

**Вязилов Е.Д., Михайлов Н.Н.**

*Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных  
249035, г. Обнинск. ул. Королева, б. Тел.: 84843974676  
E-mail: vjaz@meteo.ru*

Представлены краткие сведения об ЕСИМО, направления использования гидрометеорологической информации, виды комплексного информационного обеспечения, сервисы для информационного обеспечения, итоги обслуживания за 2018 год.

Brief information about the ESIMO, directions of use of hydrometeorological information, types of information support, services for information service, and results of the service for 2018 presented.

С 2014 г. Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО, <http://esimo.ru>) [1] находится в постоянной эксплуатации. В составе информационных ресурсов системы имеются наблюдаемые, прогностические, аналитические, обобщенные и климатические данные. ЕСИМО обеспечивает доступ к разнородной и распределенной информации 12-ти ведомств.

Пользователям системы являются:

- ФОИВ, принимающие решения – получение информации для подготовки принятия решения;
- МЧС России – для планирования и реализации мероприятий по ограничению последствий опасных явлений;
- руководители промышленных предприятий – для уменьшения убытков от опасных явлений;
- Минтранс России – для планирования судоходства, развития дорожной сети;
- коммерческие предприятия – для обеспечения работ, связанных с поиском, добычей и транспортировкой углеводородного сырья.

В зависимости от категории пользователей в ЕСИМО установлено несколько видов комплексного информационного обеспечения: регла-

ментированное информационное сопровождение; обслуживание по специальным программам; обслуживание широкого круга пользователей.

Регламентированное информационное сопровождение осуществляется посредством подготовки, комплексирования и доставки пользователям согласованного набора информации о показателях обстановки в Мировом океане, имеющих наиболее важное влияние на осуществление и принятие решений в ходе морской деятельности.

Информационное обслуживание по специальным программам осуществляется аналогично регламентированному информационному сопровождению, когда состав и содержание показателей обстановки в Мировом океане, формы представления информации о них определяются конкретными потребностями тех или иных пользователей (групп пользователей) в информационном обеспечении своей деятельности (добыча на шельфе, транспортные операции и др.). При этом оперативная и прогностическая информация становится доступной лицам, принимающим решения, в нужное время и по разным коммуникационным каналам (через электронную почту, ftp-сервер, автоматизированное рабочее место или портал).

Обслуживание широкого круга пользователей осуществляется посредством предоставления доступа к информации общего назначения, имеющейся в различных существующих системах, и к специализированным разделам системы.

Обслуживание ФОИВ осуществляется на основе соответствующих соглашений (контрактов). При этом, кроме гидрометеорологической информации, используются информационные ресурсы, предоставляемые другими министерствами и ведомствами, по показателям в области морского транспорта, рыбных ресурсов, добычи полезных ископаемых и др. Для реализации такого обслуживания используются автоматизированные рабочие места, настраиваемые под информационные потребности конкретного пользователя.

Информационное обеспечение региональных пользователей реализуется по специальным программам (соглашениям). Схема обслуживания реализуется путем создания специализированного портала, содержащего данные и информацию согласно условиям обеспечения, его поддержка на постоянной основе и обеспечение доступа пользователей.

Для каждого промышленного объекта предусмотрена выдача информации в виде классической гидрометеорологической триады – климат, текущее состояние, прогноз в регламентированном и запросоответном режимах. В случаях, когда наблюдаемая или ожидаемая гидрометеорологическая обстановка оценивается как опасное явление, преду-

сматривается автоматическая подача экстренных оповещений и штормовых предупреждений.

Сервисы информационного обеспечения делятся на обеспечивающие, справочные, информационные и прикладные.

Обеспечивающие сервисы реализуют возможности подготовки информационных ресурсов для интеграции в систему, сопровождения отдельных инструментальных средств системы, а также настройки отдельных прикладных сервисов.

Справочные сервисы включают ответы на вопросы. Где получить необходимые данные? Какие ресурсы имеются в ЕСИМО? Кто поставщик информации? В каком виде доступны данные? Какие источники информации имеются? Каков минимально необходимый объем данных по пространственным и временным масштабам? Для получения ответов на эти вопросы создана серия объектов метаданных (сведения о наблюдательных сетях, массивах и базах данных, имеющихся в России, мореведческих организациях, научных и экспедиционных проектах, рейсах научно-исследовательских судов, методах наблюдений, сбора и обработки данных, форматах хранения, параметрах наблюдений и обобщений).

Информационные сервисы позволяют доставить выбранную информацию в любую точку по расписанию с помощью электронной почты или ftp-сервера.

Прикладные сервисы позволяют обработать данные и визуализировать их в виде карт, графиков, таблиц для получения тематической информационной продукции.

Информация из ЕСИМО используется для:

- обеспечения безопасности населения;
- прогнозирования развития региона – пространственного планирования с учетом возможных изменений климата;
- инженерного проектирования и развития существующей инфраструктуры (трубопроводы, транспортные коммуникации и т.д.), пролегающей через опасные районы;
- управления объектами инфраструктуры для определения возможных воздействий на нее;
- проектирования строящихся предприятий – оценка риска для проектируемых предприятий, оценка потенциальных воздействий объекта на экологию, работников объекта, население;
- строительства – обеспечение гидрометеорологической безопасности строительства, подвозки и хранения материалов, учет складывающейся обстановки, влияющей на различные технологические процессы строительства в период явления;

- эксплуатации объектов – обеспечение гидрометеорологической и экологической безопасности объекта и работников объекта, учет складывающейся обстановки при наступлении явления;
- выведение промышленного объекта из эксплуатации – оценка потенциальных воздействий на экологическую безопасность при утилизации объекта.

Состав сервисов отличается в зависимости от момента использования информации (до опасного природного явления – климат, прогноз, в момент прохождения явления – наблюдаемые данные, после явления – наблюдаемые и прогностические данные).

Информационное обслуживание пользователей ЕСИМО производилось через главный портал системы, два региональных портала (ФГБУ «АНИИ» и ФГБУ «ДВНИГМИ») и 76 профильных автоматизированных рабочих мест.

Количество уникальных пользователей порталов единой системы в среднем в 2018 году составило более 8130, зарегистрированных пользователей – 1144 от 14 ведомств. Наибольшее число пользователей представлено от Минобрнауки России (383), Росгидромета (285) и РАН (82). Количество обращений к portalу системы более 4000 обращений в сутки, пользователями в среднем за сутки проводилось «скачивание» информации в объеме более 100 Гбайт. Наибольшей популярностью (более 1000 загрузок в 2018 г.) пользовались ресурсы ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» и ФГБУ «Гидрометцентр России». Наиболее активно используемыми ресурсами были ресурсы с прогнозом волнения по морям России, оперативные данные с прибрежных станций и др. К 33 информационным ресурсам обращение было более 100 раз.

Статья подготовлена в рамках НИР «Развитие методов и средств Интегрированной системы наблюдений в Арктике»: уникальный идентификатор проекта № 14.616.0103 Минобрнауки России.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Вязилов Е.Д., Михайлов Н.Н., Белов С.В., Воронцов А.А.** Комплексная система мониторинга морей России: Использование возможностей ЕСИМО. – Тезисы докладов. Всероссийская научная конференция «Моря России: методы, средства и результаты исследований». Севастополь, 24–28 сентября 2018 г., МГИ РАН, РФФИ. – с. 227–228.

## ПОЛИГОН МОНИТОРИНГА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Руссак Ю.С.<sup>1</sup>, Тихонова Н.Ф.<sup>1</sup>, Дорошенко С.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01, russak@ocean.ru*  
<sup>2</sup> *ООО «ЗД Спутниковая навигация», trdom@mail.ru*

Рассматриваются проблемы создания полигона измерения океанографических параметров для формирования и функционирования динамически обновляемой модели состояния морской топографической поверхности и калибровки спутниковых альтиметров.

The problems of creating a polygon for measuring oceanographic parameters for the formation and functioning of a dynamically updated model of the state of the sea topographic surface and calibration of satellite radio altimeters are considered.

Полигон мониторинга морской поверхности обеспечивает измерение океанографических параметров морской акватории, состояние морской поверхности, формирование и функционирование динамически обновляемой модели состояния морской топографической поверхности (МТП), позволяющей определять её высоту над общим земным эллипсоидом в любой точке заданного участка акватории. Кроме прикладных научных исследований на полигоне возможно проведение калибровки высокоточных спутниковых альтиметров (АС).

Полигон представляет собой район морской акватории площадью 10х10 км, глубинами моря не более 2 км, с сетью морских буйковых станций (МБС), оборудованный наземным пунктом сбора и обработки информации, расположенным в береговой части полигона.

При удалении точки измерения от береговой черты на расстоянии до 20 км и отсутствие в этих условиях неподвижных точек отсчета однозначно определяет выбор метода решения измерительной задачи – использование спутниковых навигационных технологий, в частности проведение дифференциальных фазовых измерений для определения положения морских буйковых станций (МБС) [1]. Высота МТП определяется в этом случае относительно места расположения антенны берегового спутникового навигационно-измерительного модуля (СНИМ) в системе координат ПЗ-90.02.

Фазовые методы могут быть условно разделены на следующие категории:

1) По времени получения результата. Различают режим реального времени (РТК) и режим с послесезанной обработкой.

2) По динамике объектов. Кинематические фазовые решения характеризуются точностью первых единиц сантиметров.

3) По условиям этапа инициализации. Любое фазовое решение делится на два этапа: разрешение фазовых неоднозначностей, и штатный режим выработки фазового решения. Разрешение фазовых неоднозначностей является наиболее трудоёмким (и ресурсоёмким) этапом в фазовом решении, и существует множество различных подходов к решению данной задачи. Существуют специальные методы разрешения неоднозначностей для объектов, не допускающих неподвижных положений (так называемый режим разрешения неоднозначностей OTF (on-the-fly) – «на лету»).

Условия эксплуатации СНИМ в составе полигона допускают применение технологии относительной фазовой съёмки в кинематическом режиме с разрешением неоднозначностей способом OTF. Сглаживание волнения морской поверхности (и шумовых составляющих кинематического решения) осуществляется на заданном интервале времени. Условия применения допускают использование режима с постобработкой накопленных измерений по коду и фазе несущей. В целях минимизации объема информации, передаваемой по радиоканалу постобработку измерений целесообразно проводить на МБС (с последующей передачей только результатов решения).

Разность координат ( $\Delta X \Delta Y \Delta Z$ ) можно определять с помощью сигналов СНС ГЛОНАСС в системе координат ПЗ-90.02, или с помощью сигналов СНС GPS в системе координат WGS-84. Поскольку обе системы координат отличаются ориентацией осей на доли угловой секунды, то в наших условиях измерений эти разности координат совпадают до долей миллиметра.[3].

Для повышения точности вычислений и сглаживания волнения допустимо использовать процедуру осреднения по времени результатов измерений на временном интервале до 600 с. Зона дрейфа волномерного буя, связанного штангой с закоренным поверхностным бумом, на интервале до 600с будет составлять не более десятков метров, что не скажется в дальнейших расчетах оценки изменения уровня моря на акватории.

Бюджет погрешностей при решении задачи измерения мгновенного и осредненного значения уровня моря в точке установки МБС с учетом волнения с использованием СНИМ приведен в таблице:

Таблица 1.

Составляющая погрешностей	Значение СКП мгновенного значения, см	Значение СКП осредненного значения, см
- погрешность измерения высоты приемного центра антенны берегового СНИМ в системе координат ПЗ-90.02	2,0	2,0
- погрешность измерения высота приемного центра антенны волномерного буя над ватерлинией на спокойной воде, получаемая экспериментальным путем на стенде для проверки и отладки СНИМ	2,0	2,0
- погрешность, обусловленная изменением высоты приемного центра антенны волномерного буя от геометрии расположения спутников над горизонтом	2,5	2,0
- погрешность измерения разности высот антенны берегового СНИМ и антенны СНИМ волномерного буя в реальном времени при интервале обновления информации 1 с на дистанции до 20 км в фазовом кинематическом режиме	4,7	-
- погрешность осредненного значения на временном интервале 300 с разности высот антенны берегового СНИМ и антенны СНИМ волномерного буя в реальном времени при интервале обновления информации 1 с на дистанции до 20 км в фазовом кинематическом режиме	-	2,7
- погрешность от наклона и угловых колебаний волномерного буя от ветра до 7 м/с и волнения до 3 баллов	1,6	1,6
Суммарная СКП решения задачи измерения мгновенного значения уровня моря с учетом волнения в точке установки МБС при интервале обновления информации 1 с	6,3	-
Суммарная СКП решения задачи измерения среднего значения уровня моря в точке установки МБС при интервале осреднения информации до 600 с	-	4,7

Измерение уровня моря с использованием СНИМ производится пространственно-распределенной системой, элементы которой входят в состав полигона и несут разную функциональную нагрузку:

- морская буйковая станция (МБС) включает радиоэлектронное оборудование, которое производит кодовые и фазовые измерения параметров радиосигналов глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS, принимаемых на антенну волномерного буя, принимает по радиомодему дифференциальные поправки от берегового СНИМ, записывает измерительную информацию в память процессора, по окончании сеанса накопления в режиме постобработки рассчитывает положение антенны волномерного буя относительно антенны берегового СНИМ и передает решение задачи и накопленную измерительную информацию через радиомодем на сервер СУБД;

- береговой СНИМ производит кодовые и фазовые измерения параметров радиосигналов ГНСС ГЛОНАСС и GPS, передает эти измерения на МБС и сервер СУБД;

- сервер СУБД формирует базы данных по результатам измерений берегового СНИМ и МБС, принимает от МБС данные о положении антенн волномерных буюв относительно антенны берегового СНИМ, рассчитывает высоты антенн волномерных буюв в системе координат ПЗ-90.02;

- уровнемер, который позволяет, оценивать изменения высоты уровня поверхности моря в одной точке в месте его установки в прибрежной зоне.

Для обеспечения функционирования перечисленных элементов дополнительно используются:

- СНИМ судна постановщика и радиомодем для контроля функционирования МБС в процессе подготовки их к работе и при проведении измерений;

- стенд для проверки и отладки спутниковых навигационных измерительных модулей используется для подготовки СНИМ к проведению измерений, в частности для экспериментального определения высоты приемного центра антенны волномерного буя над ватерлинией на спокойной воде;

- комплект гидрофизической измерительной системы MIDAS-ЕСМ, который эксплуатируется на судне обеспечения. Зондирование толщи воды до дна производится в выбранных точках акватории с целью обнаружения аномалий, связанных с меандрированием течений и вихреобразованием в районе свала глубин в площади полигона.

Важнейшим элементом этой распределенной системы является морская буйковая станция. МБС (см. рис.1), которая состоит из следующих основных составных частей:

- Волномерный буй, предназначенный непосредственно для проведения океанографических измерений уровня моря и параметров волнения;
- Поверхностный буй, предназначенный для размещения электрического и радиоэлектронного оборудования;
- Электрическое оборудование (аккумуляторная батарея, комплект кабелей, проблесковый маяк), обеспечивающее электропитание радиоэлектронного оборудования и проблескового маяка;
- радиоэлектронное оборудование волномерного и поверхностного буюв (СНИМ с приемной антенной сигналов СНС ГЛОНАСС и GPS, микроконтроллер, радиомодем, антенна радиомодема), обеспечивающее проведение измерений и передачу результатов измерений в береговой центр;
- уголкоый отражатель, обеспечивающий радиолокационную видимость МБС;
- волномерный буй представляет собой плавучесть, на которой в герметичном отсеке размещен СНИМ с приемной антенной, обеспечивающий измерение параметров радиосигналов глобальных СНС ГЛОНАСС и GPS, а также передачу результатов измерений в радиоэлектронное оборудование волномерного буюа по кабелю волномерного буюа.



Рис. 1. Морская буйковая станция в месте постановки

Поверхностный буй представляет собой плавучесть, на которой в герметичном отсеке размещен микроконтроллер, обрабатывающий результаты измерений волномерного буюа, радиомодем, обеспечивающий взаимодействие с береговым центром при измерении параметров радиосигналов СНС ГЛОНАСС и GPS, а также передачу результатов измерений в береговой центр. На мачте поверхностного буюа размещены антен-

на радиомодема, проблесковый маяк и уголкового отражатель, под мачтой размещены аккумуляторные батареи 12В, обеспечивающие электропитанием проблесковый маяк и радиоэлектронное оборудование. Аккумуляторная батарея обеспечивает время работы радиоэлектронного оборудования в одном цикле с режимами:

- "Дежурный" – более 200 ч;
- "Измерение" – более 12 ч.

Изменение режимов работы радиоэлектронного оборудования МБС производится дистанционно по командам (сигналам) берегового центра. Контроль работы радиоэлектронного оборудования МБС производится автоматически на береговом центре и на судне обеспечения работ.

Эксплуатационные ограничения:

- в дежурном режиме – волнение моря не более 4 баллов, при большем волнении существует угроза отрыва буя от якорного устройства;
- в рабочем режиме – волнение моря не более 2 баллов, при большем волнении снижается точность измерения волномерного буя.

Как было отмечено выше, полигон является пространственно разнесённым аппаратно-программным комплексом, включающим следующие элементы:

- мобильные и стационарные датчики, в том числе использующие радиосигналы ГНСС ГЛОНАСС/GPS;
- средства передачи цифровых данных между отдельными элементами, в том числе с использованием беспроводных (радиомодемы) и проводных линий связи;
- стационарные средства управления и обработки собранных данных.

Опыт ввода в строй подобных программно-аппаратных комплексов показывает, что требуется тщательное проектирование при выборе мест установки приёмных и передающих антенн, линий связи и качество приёма сигналов ГНСС ГЛОНАСС/GPS. При этом нормальное функционирование отдельных датчиков и других элементов, а также линий связи между ними, не гарантирует устойчивого функционирования всего комплекса в целом. Всё это накладывает особые требования к качеству монтажных работ.

Следует отметить также сложность развёртывания сети МБС, трудоёмкость процедур установки, снятия и замены аккумуляторов МБС, восстановления механических повреждений, особенно в сложных метеоусловиях. Альтернативой предложенному варианту полигона может служить разработка и изготовление мобильного плавающего буксируемого шлюпкой буя с геодезическим приёмником ГЛОНАСС/GPS, аналогично использованных в проектах JASON-1, Torex/POSEIDON и дру-

гих при калибровке спутниковых альтиметров [4]. Однако, при этом получение океанографических данных возможно в 1-3 точках полигона, что затруднит построение пространственно-временных моделей, а кроме того результаты измерений могут быть получены только через 3-5 часов после пролёта спутника.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Глобальная навигационная спутниковая система Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2019-0011), при частичной поддержке РФФИ (проект РГО-а № 17-05-41041 и проект 18-05-60070 «Арктика»).

ГЛОНАСС. (Интерфейсный контрольный документ, пятая редакция).- М.: Координационный научно-информационный центр Российской Федерации,. 2002. – 57 с.

2. **Дубинко Т.Ю., Дорошенко С.Ю., Вестерский М.,Н.** Способ формирования навигационных данных объекта: Патент РФ 2427899.

3. **Рымский – Корсаков Н.А., Руссак Ю.С., Дорошенко С.Ю.** Комплекс аппаратно-программных средств мониторинга морской поверхности // Сборник трудов XIV Международной конференции МСОИ-2015. (Современные методы и средства океанологических исследований): Том II, Институт океанологии РАН – Москва, 2015. – сс. 248-252 .

4. **Cheng, K., C.K. Shum, M. Parke, K. Snow, S.C. Han, J.J. Benjamin, D. Martin, G. Mader:** "GPS–Buoy water level instrument: Applications for radar altimeter calibration", oral presentation, GGG2000, Canada, 2000.

УДК 551.46

### **«MULTI-BOX» – УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ ОТ НЕСКОЛЬКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ**

**Григорьев А.В., Артемьев В.А.**

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

Представлена новая разработка лаборатории оптики океана – система «Multi-Box», позволяющая с высокой надежностью производить долговременный сбор информации от разнообразных приборов с последующей передачей на один USB порт персонального компьютера.

The new development of the laboratory of ocean optics – the system "MultiBox", which allows to make long-term collection of information from a variety of devices with high reliability with subsequent transfer to one USB port of a personal computer.

При проведении экспедиционных исследований возникает необходимость одновременного и долговременного сбора данных от разных источников. В качестве примера можно привести измерения судовой проточной системой, где необходимо регистрировать данные по солености, температуре, флуоресценции, OPOB, показателе ослабления света; времени и координатах с приемника GPS. Для одновременной регистрации этих данных использовалось 2 ноутбука и практически все USB порты. При этом, данные в компьютер вводились через различные периферийные интерфейсы:

1. LPT – параллельный, синхронный периферийный интерфейс для принтера.
2. RS232 – последовательный, асинхронный периферийный интерфейс.
3. GPIB – интерфейсная шина общего назначения.
4. IrDA – инфракрасный, периферийный интерфейс.
5. PCMCIA – модуль расширения для PC Card.
6. USB – универсальная последовательная шина.
7. LAN: 10/100 – Ethernet сеть network.

Пример структуры подключения различных приборов к ПК показан на рис. 1, Алгоритм последующей обработки приведен [1, 2].

На данный момент на большинстве стационарных и переносных компьютерах (ПК) из периферийных интерфейсов остались USB и LAN. На их основе строятся промежуточные интерфейсы такие, как USB-COM, USB-LPT и так далее. Для каждого прибора необходим один USB порт, что ограничивает количество подключаемых приборов количеством USB входов в компьютере. Использование USB размножителей ограничивает общее потребление всех устройств, подключённых к USB порту. Временное отключение USB порта в результате его сбоя или из-за внешних воздействий требует повторной инициализации, как устройства, подключённого к шине USB, так и программного обеспечения, работающего с этим устройством. Такие проблемы приводят к необходимости постоянного мониторинга его работы. С каждым прибором, подключённым к ПК, может работать только одна программа.

Для упрощения ввода данных в компьютер от нескольких приборов, и увеличения надёжности сбора, был разработан универсальный блок ввода данных «Multi-Vox». Совместно с программным обеспечением это позволило создать универсальную систему сбора данных.

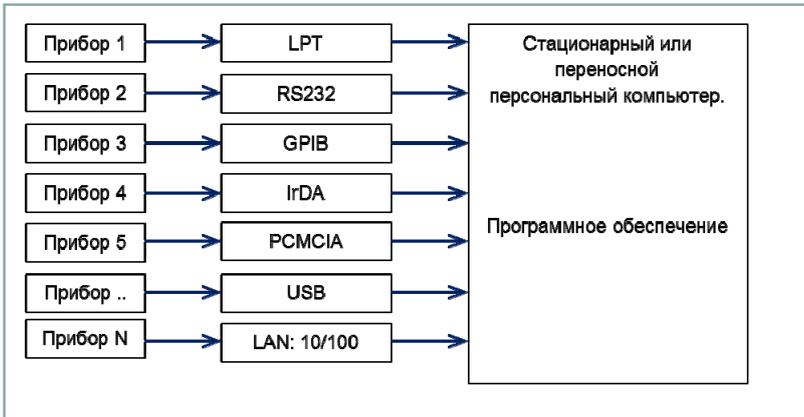


Рис. 1. Структура подключения различных приборов к ПК

Универсальный блок ввода данных «Multi-Vox» состоит из:

1. Центрального микроконтроллерного устройства.
  2. Набора входных интерфейсов для подключения различных внешних периферийных приборов.
  3. Интерфейса USB 2.0 для подключения к ПК.
- Питание блока «Multi-Vox» осуществляется от интерфейса USB 2.0 ПК, (рис. 2).

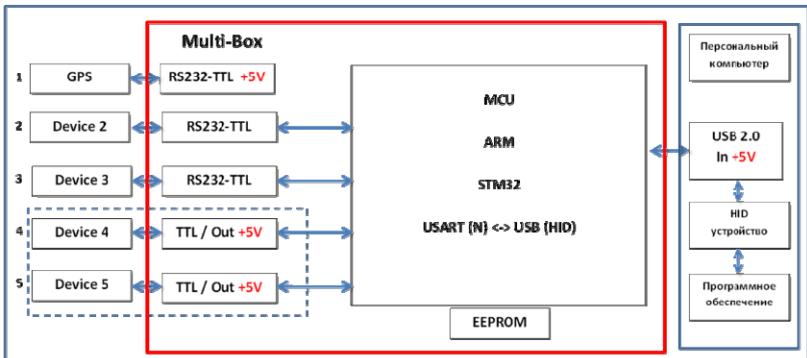


Рис. 2. Подключение внешних измерительных приборов к персональному компьютеру через блок «Multi-Vox»

Внешние измерительные приборы подключаются к различным входным интерфейсам и при необходимости могут получать от него электропитание. Для операционной системы ПК блок «Multi-Vox» представлен как HID устройство, без необходимости установки дополнительных драйверов. Все блоки «Multi-Vox» взаимозаменяемы. С одним блоком «Multi-Vox» могут работать несколько программ на одном персональном компьютере.

Инициализация блока «Multi-Vox» при подключении его к ПК и программному обеспечению, работающему с приборами, происходит автоматически, и не требует постороннего вмешательства. При возникновении сбоев в работе блока «Multi-Vox» или программы на ПК, автоматически происходит сброс и повторная инициализация, как блока «Multi-Vox», так и программного обеспечения ПК.

Преимущества использования системы «Multi-Vox»:

- Для всех приборов, подключённых к «Multi-Vox» требуется только один USB порт ПК.
- Взаимозаменяемость всех блоков.
- Параллельная работа на ПК нескольких программ, как с одним, так и с несколькими приборами, подключёнными к блоку «Multi-Vox».
- Автоматическая инициализация блока «Multi-Vox» происходит при подключении к ПК.
- При необходимости, возможно подача внешнего электропитания к подключаемому прибору через блок «Multi-Vox».
- Световая и цветовая индикация позволяют визуально определять состояние подключённых приборов и самого блока «Multi-Vox».

На основе системы «Multi-Vox», под разные задачи, были разработаны и изготовлены несколько блоков, примеры исполнения приведены на рис. 3.

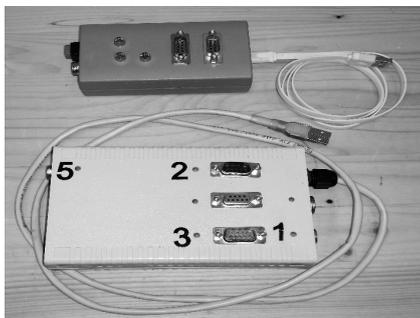


Рис. 3. Внешний вид блоков «Multi-Vox»

Натурные испытания 4 блоков системы «Multi-Vox» были проведены в 2018 году в 71 и 72 рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш» и показали высокую надежность. Так в составе проточной системы блок «Multi-Vox» практически непрерывно отработал ~ 70 суток.

Работа выполнена в рамках Госзадания, по теме № 0149-2019-0003.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Артемьев В.А., Григорьев А.В., Глуховец Д.И.** Непрерывные измерения показателя ослабления света морской водой на ходу судна – новые возможности использования прозрачномера ПУМ-А./ Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ 2017), материалы конференции, том II, С. 55-58.

2. **Glukhovets D. I., Kopelevich O.V., Sahling I.V., Artemiev V.A., Pautova L.A., Lange E.K.** Biooptical characteristics of the surface layer of the Baltic, Norwegian, and Barents seas in summer 2014–2016 from ship-board and satellite data./ *Oceanology* 05/2017; 57(3):410–418.

УДК 551.465.7

### СОВРЕМЕННЫЙ КЛИМАТ И ЕГО ОСОБЕННОСТИ

**Бышев В.И., Серых И.В., Анисимов М.В., Сидорова А.Н.**

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

Обсуждаются особенности современного климата, важнейшей из которых является его мультидекадная (50–70 лет) ритмичность. Отдельный ритм состоит из двух фаз климата по 25–35 лет, отличающихся степенью континентальности. Отмечается, что наблюдаемая ритмика является следствием мультидекадной изменчивости верхнего деятельного слоя (ВДС) Мирового океана. Указывается, что мониторинг теплосодержания ВДС океана может лежать в основе прогноза сменяемости фаз климата.

The features of the modern climate are discussed, the most important of which is its multi-decadal (50-70 years) rhythm. A separate rhythm consists of two phases of climate for 25–35 years, differing degree of continentality. It is noted that the observed rhythm

is a consequence of the multi-decadal variability of the upper active layer of the world ocean. It is indicated that the monitoring of the heat content of the upper active layer of the ocean can be the basis for the forecast of climate phase variability.

Современный климат – это климат, наблюдаемый в течение последних 100–150 лет. Текущий климат, как показывают наблюдения, характеризуется рядом особенностей, наиболее важной из которых является ярко выраженная его мультидекадная ритмичность. Отдельные его ритмы, продолжительностью по времени 50–70 лет, включают в себя две качественно различные фазы по 25–35 лет каждая. К примечательной особенности современного климата следует отнести также как бы внезапные и быстрые фазовые переходы, которые воспринимаются не иначе как «скачки» или климатические сдвиги, подобные тому, который, например, произошёл в середине 70-х годов прошлого столетия [1]. Согласно [2] за последние 100 лет фазовые переходы (рис.1) имели место в конце 30-х и в середине 70-х годов прошлого столетия, а также на рубеже XX и XXI веков.

Качественные вариации климата при переходе из одной фазы в другую выражаются прежде всего в сокращении содержания водяного пара в планетарной атмосфере [3], а, следовательно, и облачности, и осадков. Названные процессы сопровождаются либо засухами и ростом количества природных лесных пожаров [4] при сокращении влаги в атмосфере, либо, напротив, ростом числа наводнений и других сопутствующих явлений при увеличении влажности атмосферы. Одна фаза от другой отличаются, таким образом, степенью континентальности климата. Углубление нашего понимания природы мультидекадной изменчивости климата представляет как научную, так и практическую значимость. Выполненные исследования [5, 6] показали, что мультидекадная изменчивости планетарного климата является следствием соответствующей изменчивости теплосодержания ВДС Мирового океана (рис. 2).

Фаза увеличения теплосодержания ВДС океана сопровождается сокращением влагообмена океана с атмосферой и как следствие сокращением в последней содержания водяного пара. Фаза сокращения теплосодержания ВДС океана, напротив, обусловлена интенсификацией влагообмена океана с атмосферой и ростом в ней содержания водяного пара. Прогноз смены фаз климата представляет исключительно важное значение и может быть основан на мониторинге теплосодержания ВДС океана.

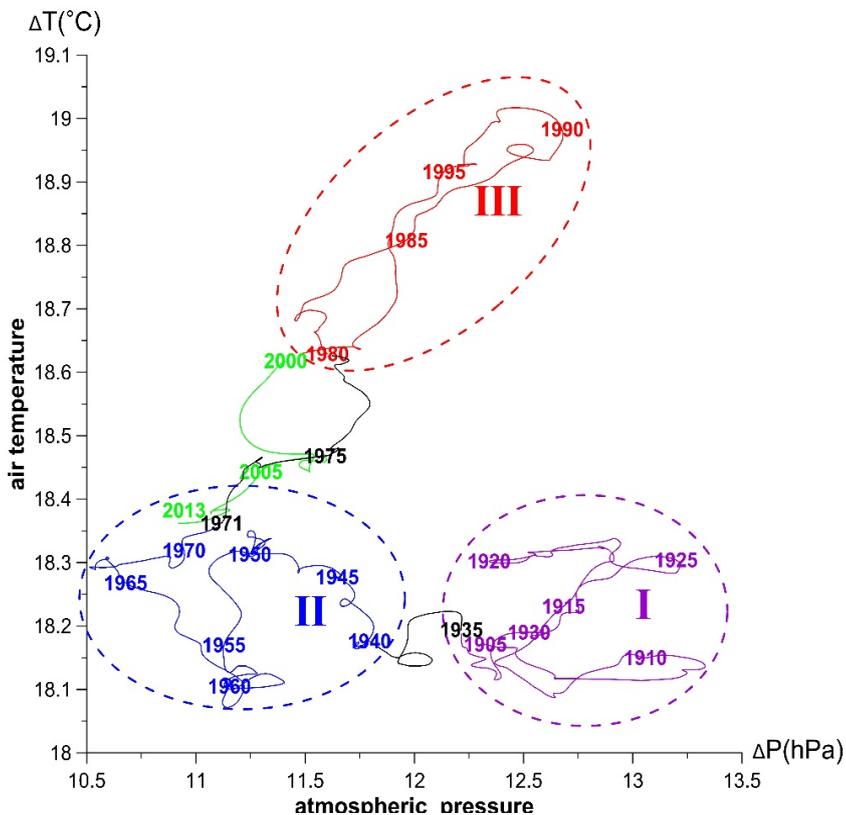


Рис. 1 Фазовая траектория термобарического параметра состояния Северо-Атлантического региона (разными цветами выделены фазовые подмножества, соответствующие различным сценариям климата): I) 1905-1934, II) 1940-1970, III) 1980-1999

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Minobe S.A** Resonance in bidecadal and pentadecadal climate oscillation over the North Pacific: role in climatic regime shift // *Geophys. Res. Lett.* 1999. Vol. 26. P.855–858.
2. **Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И. В.** О фазовой изменчивости некоторых характеристик современного климата в регионе Северной Атлантики. Доклады АН, 2011. Т. 438. №6. С.817–822.

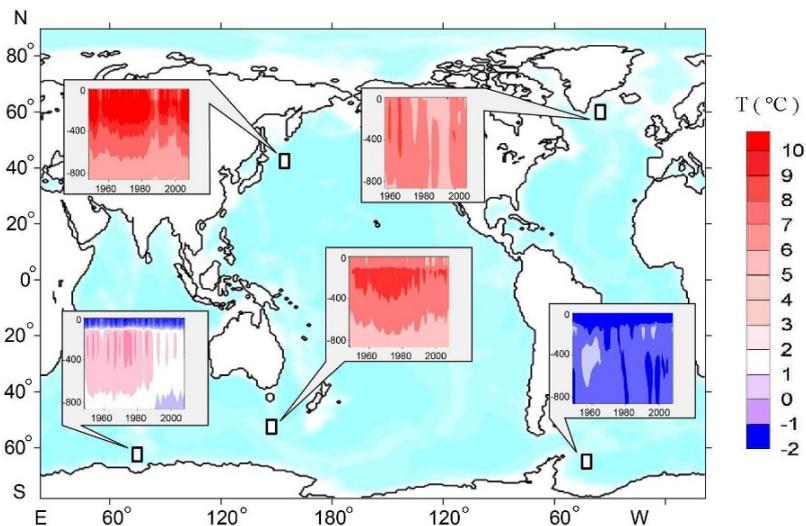


Рис. 2. Эволюция термической структуры ВДС в пяти информативных районах Мирового океана в период с 1958 по 2006 гг.

3. **Mao K., Chen J., Li Z., Ma Y., Song Y., Tan X., Yang K.** Global Water Vapor Content Decreases from 2003 to 2012: An Analysis Based on MODIS Data // *Chin.Geogra. Sci.* 2017. Vol. 27. No. 1. P. 1–7; doi: 10.1007/s11769-017-0841-6.

4. **Пономарёв Е.И., Скоробогатова А.С. Пономарёва Т.В.** Горимость лесов Сибири и межсезонной вариации уровня тепло- и влагообеспеченности. *Метеорология и гидрология.* 2018. № 7. С. 45–55.

5. **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.

6. **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.

**НОВЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В АРКТИКЕ**

**Данилов А.И., Смирнов В.Г., Миронов Е.У.**

*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, ул.  
Беринга, 38, 199397, г. Санкт Петербург, 8(812)337-31-19 aid@aari.ru;  
vgs@aari.ru*

В статье представлены направление деятельности ААНИИ по развитию системы гидрометеорологического обеспечения деятельности в Арктике. Рассматриваются новые аппаратно-программные комплексы Айсберг и Морской лед.

The article presents the work of AARI aimed at the development of the system of hydrometeorological support of marine activities in the Arctic. The new hardware and software complexes "iceberg" and "Ice" developed at the AARI are considered.

Развитие гидрометеорологического обеспечения морской деятельности в Арктике с начала 1930 годов связано с судоходством по Северному морскому пути (СМП).

В Росгидромете в начале 1980-ых годов создана автоматизированная система для Арктики (АЛИСА), которая включает Центр ледовой и гидрометеорологической информации (ЦЛГМИ), находящийся в ААНИИ, а также территориальные управления гидрометеорологической службы и другие НИУ. Система АЛИСА используется для оперативного обеспечения гидрометеорологической безопасности мореплавания в рамках Глобальной морской системы связи при бедствии и обеспечении безопасности (ГМССБ). Ледовая информация на регулярной основе используется Администрацией Северного морского пути для принятия решения о необходимости ледокольного сопровождения судов, осуществляющих плавание в морях российской Арктике. Ведется специализированное обеспечение морских объектов и операций в Арктике, на Дальнем Востоке: проект Сахалин 1, МЛСП «Приразомная» и Варандейский терминал в Печорском море транспортных операции в Обской губе, перевозки компании «Норильский никель», грузовые операции на припае арктических остров и др.

В связи с увеличением грузопотоков и превращением в перспективе Северного морского пути в круглогодичную транзитную транспортную систему ожидается рост спроса на гидрометеорологическое обеспечение по маршрутам перевозок и в районах отгрузки и перевалки грузов. Поэтому важной задачей является совершенствование и развитие методов и средств мониторинга, прогнозирования гидрометеорологических параметров, доведенных до уровня практического использования. В последние годы созданы и развиваются методы обнаружения опасных ледовых образований: торосистых полей, стамух, айсбергов и их обломков, с использованием данных зондирования в различных спектральных диапазонах [1]. Ледовая и другая информация доставляется непосредственно на судно, визуализируется в навигационных системах (технология DKART ICE NAVIGATOR и др.). В последние годы отмечается увеличение количества айсбергов на трассах СМП [2]. Айсберги представляют существенную опасность для хозяйственной деятельности на арктических акваториях. Айсберговые угрозы создают риски повреждений судов и шельфовых сооружений, кабелей и трубопроводов, проложенных в мелководной зоне по морскому дну.

В рамках проекта «Создание новых методов и средств мониторинга гидрометеорологической и геофизической обстановки на архипелаге Шпицберген и в Западной Арктической зоне РФ» (мероприятие 1.4 ФЦП «Исследование и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014–2020 гг.>) было разработано семь экспериментальных аппаратных программных комплексов –ЭАПК (лёд, айсберги, климат, атмосфера и океан, загрязнение, сейсмический режим и опасные геодинамические явления).

ЭАПК Айсберг включает метод обнаружения айсбергов с использованием спутниковой информации высокого пространственного разрешения, краткосрочный прогноз его дрейфа и оценку айсберговой угрозы для стационарного морского сооружения. Для оценки айсберговой опасности для стационарной платформы производится районирование прилегающей акватории в зависимости от степени опасности обнаруженных айсбергов и необходимого времени реагирования на айсберговую угрозу. Выделяется 5 концентрических зон, от зоны раннего обнаружения до зоны экстренной эвакуации платформы. Задача ЭАПК – дать целеуказание судам ледовой защиты для действий по смещению айсберга с опасной для сооружения траектории. ЭАПК «Лед» обеспечивает мониторинг ледяного покрова и прогнозирование его состояния с использованием спутниковой информации и современной динамико-термодинамической модели. Новые разработки применяются в практике

ГМО при наличии айсберговых угроз, как например, при разведочном бурении в Карском море в 2013 г., в отработке методов воздействий на айсберги в полевых условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Обнаружение по спутниковым данным опасных ледяных образований вблизи инженерных объектов хозяйственной деятельности на шельфе арктических морей /под ред. В.Г. Смирнова. СПб.: ААНИИ, 2017. – 76 с.

2. **Монько Н.А., Степченков С.К., Калашников А.В., Данилов А.И.** Гидрометеорологическое обеспечение плавания в акватории Северного морского пути в 2017 году // Российские полярные исследования. – 2018. – № 2(32). – С. 23–29.

УДК 004.93

### **АВТОМАТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДВОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**Артюхин В.В.<sup>1</sup>, Вяльшев А.И.<sup>1</sup>, Добров В.М.<sup>1</sup>, Любин Ю.Н.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, ул. Давыдовская, 7, 121352, г. Москва, 8(495)400-99-10, www.vniigochs.ru*

<sup>2</sup> *АО «Российские космические системы», ул. Авиамоторная, д. 53, 111250, г. Москва, 8(916)647-22-53, y.lyubin@mail.ru*

На основе анализа гидролокационных изображений, полученных от гидролокатора бокового обзора, формируется образ объекта, который затем распознается (классифицируется), как принадлежащий к определенному классу объектов. Разработаны алгоритмы и программное обеспечение для формирования образа объекта и принятия решения о его принадлежности к тому или иному классу.

Based on the analysis of sonar images obtained from the sidescan sonar, an image of the object is formed, which is then recognized (classified) as belonging to a certain class of objects. Algorithms and software for forming an image of an object and making a decision about its belonging to a particular class are developed.

На дне Мирового океана находится большое количество объектов, которые могут представлять потенциальную опасность для населения и окружающей среды – подводные потенциально опасные объекты (ППОО) [1]. К таким объектам в первую очередь относятся:

- затонувшие атомные подводные лодки и их конструкции с отработавшим ядерным топливом;
- затонувшие и затопленные корабли и суда с боезапасом на борту;
- затонувшие контейнеры и бочки с опасными веществами;
- боеприпасы (мины, снаряды и др.).

Для обнаружения подводных потенциально опасных объектов гидроакустическими средствами, как правило, используются гидролокаторы бокового обзора с дальностью действия до сотен метров и предназначенные для работы в мелководных условиях в прибрежных и шельфовых зонах морей. Они имеют, как правило, сравнительно высокие рабочие частоты и хорошую разрешающую способность по дальности.

Гидролокатор бокового обзора (ГБО) дает трехмерное изображение рельефа дна с расположенными на нем объектами. Пример изображения с затопленным судном представлен на рис. 1.



Рис. 1. Затопленное судно на изображении гидролокатора бокового обзора

Для ряда задач при большом объеме информации целесообразно распознавать изображения в автоматическом режиме, однако, несмотря на широкое применение методов распознавания образов в различных областях, до настоящего времени вопрос с подводными потенциально опасными объектами не решён.

Задача автоматического обнаружения и последующей классификации или распознавания ППОО усложняется как многообразием видов и

размеров объектов на дне, так и их расположения относительно линии движения корабля-буксира ГБО, т.е. один и тот же объект на разном расстоянии от корабля-буксира и под разными углами визирования может иметь совершенно разное изображение (картинку) на экране ГБО. Особенно это заметно на протяженных объектах (лодках, бревнах, снарядах и т.д.).

В данной работе предложен метод автоматической классификации обнаруженных объектов, основанный на выборе объекта подлежащего классификации и дальнейшего отнесения его к тому или другому классу.

На первом этапе применяется метод выбора единичного объекта из потока данных с выхода гидролокатора бокового обзора, или иными словами обнаружение «кандидатов» в ППОО и их первичная селекция по размерам объекта (в предложенной работе «кандидат» в ППОО должен быть размером не менее 0,5 м и не более 100 м). Изображение на выходе ГБО позволяет это делать, т.к. разрешающая способность аппаратуры наблюдения (размеры пикселей изображения) в настоящее время составляет не более 0,2 м. Результаты работы алгоритма обнаружения передаются на классификацию в виде фрагментов изображений, содержащих «кандидаты» в ППОО. Будем называть их стробами, содержащими изображения меньшего объема, чем исходное изображение с выхода ГБО.

На втором этапе производится классификация объектов в каждом стробе, полученном в алгоритме обнаружения «кандидатов» в ППОО.

Таким образом, можно назвать первичной обработкой обнаружение поиска объекта и выделение строба, а вторичной обработкой классификацию объекта в стробе.

При классификации выбранного подводного потенциально опасного объекта могут быть использованы два подхода:

- измерение и выделение классификационных признаков с последующим анализом и принятием решения;
- распознавание образа подводного потенциально опасного объекта как присущего заданному классификационному типу, сформированного на основании накопленных предыдущих данных.

В первом случае система классификационных признаков должна быть заранее известна и применительно к ней должна разрабатываться пространственно-временная обработка, либо используя имеющуюся пространственно-временную обработку, проанализировать полученные результаты и на их основе сформулировать набор классификационных признаков.

В настоящей работе рассматривается второй, наиболее современный подход, когда классификацию изображений подводных потенциально-опасных объектов в программном обеспечении предлагается осуществлять с использованием алгоритмов сверточной нейронной сети (convolutional neuron network).

Метод нейронных сетей основан на простой математической модели функционирования мозга. Нейронные сети могут применяться для получения как численных, так и бинарных решений. Метод является весьма затратным с точки зрения вычислений, однако структура сетей позволяет захватывать (учитывать) сложные взаимосвязи между предикторами и значениями зависимой переменной. С другой стороны, сеть может восприниматься как «черный ящик», поскольку выявленные взаимосвязи нелегко понять и интерпретировать. Таким образом, метод нейронных сетей является хорошим выбором, если требуются точные прогнозы, но несостоятелен при решении задач описательного анализа или при необходимости исследования характера связей между переменными. Прогнозы, полученные с помощью нейронных сетей, можно объединять с другими, получая прогностические «ансамбли» [2].

Схему искусственного нейрона (как математическое отражение физического нейрона в мозге человека) можно представить следующим образом (рис. 2).

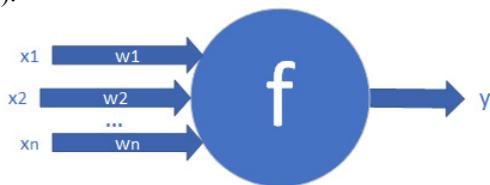


Рис. 2. Схема нейрона в искусственной нейронной сети

Основой разработки нейронного алгоритма решения задачи является системный подход, при котором процесс решения задачи представляется, как функционирование во времени некоторой динамической системы, на вход которой подается множество  $D$  (исходные данные), а на выходе снимается множество  $R$  (объекты, подлежащие определению и получившие свои значения).

Как и в случае с биологическим нейроном, искусственный принимает входные значения  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , перемножает их с весами  $w_1, w_2, \dots, w_n$ , суммирует получившиеся значения (производя «логит» нейрона,  $z = \sum_i^n w_i x_i$ ) и передает в функцию  $f$ , рассчитывающую выход

нейрона  $y = f(z)$ . Значение  $y$  затем может передаваться в другие нейроны в качестве входа.

В человеческом мозге нейроны организованы в слои. Искусственная нейронная сеть возникает, когда мы соединяем искусственные нейроны в слои, а слои связываем выходами и входами, при этом первый слой получает на вход исходные данные задачи, а последний выдает на выходе решение этой задачи (рис. 3).

Модели на основе нейронных сетей – это одна из разновидностей методов машинного обучения «с учителем» или с подкреплением. Для того, чтобы модель работала, ей необходима фаза тренировки. Вначале все веса соединений в сети инициализируются некоторым случайным образом. В течение фазы тренировки в модель загружаются изображения объектов, классы которых известны (помечены). Сравнивая ответы сети с известными правильными ответами можно получить так называемую функцию ошибки.

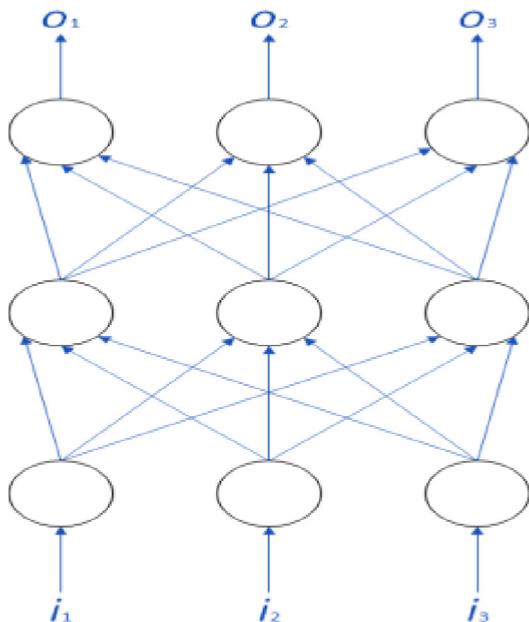


Рис. 3. Простой пример нейронной сети с тремя слоями

Чем ближе функция ошибки к нулю, тем точнее предсказания нашей модели, и при функции ошибки равной нулю наша модель осуществляет предсказания с идеальной точностью.

Точность модели в течение фазы тренировки повышается за счет применения методов оптимизации к функции ошибки  $E$ . Более точно, нам необходимо найти минимальное значение  $E$ , как функции в том числе и от весов входов в последний слой нейронов. Используя градиентный спуск (или другой метод оптимизации), мы можем скорректировать веса для входов последнего слоя. С другой стороны, величина функции ошибки зависит не только от весов соединений в последнем слое нейронов, но и от значений входов в эти нейроны. Те, в свою очередь зависят от весов на слое перед последним и т. д. Распространяя «ответственность» за величину ошибки на все слои, мы можем скорректировать все веса в сети, таким образом обучая модель. Этот подход носит название «метод обратного распространения ошибки» [3].

Современные модели распознавания и классификации изображений могут включать миллионы параметров. Тренировка их с нуля требует больших объемов тренировочных размеченных данных (миллионов изображений) и значительного времени (сотен часов работы GPU – графических процессорных устройств на видеокартах, применяемых для параллельных вычислений, связанных, в том числе, и с нейронными сетями).

Перенос знаний – это техника, позволяющая взять часть модели, уже натренированной (обученной) на схожей задаче, и использовать ее в новой модели для другой задачи. Такой подход не обеспечивает точности, которая может быть получена при тренировке полной модели, однако показывает себя удивительно хорошо на множестве задач, также позволяя использовать тысячи, а не миллионы тренировочных изображений, и тренировать модели за полчаса или час, а не за сотни часов. Именно он применяется в данной работе.

После обучения сети на большой базе данных (более 700 образов) для тестирования точности работы программы распознавания было отобрано/синтезировано 116 изображений с объектами. Эти изображения ранее не встречались нейронной сети, то есть не использовались при ее обучении.

В графическом режиме программа классификатора работает в пять простых шагов:

- Выбор изображения для классификации.
- Вывод изображения на экранную форму.
- Запуск классификации.

Осуществление классификации методом нейронной сети (расчет весовых коэффициентов и распределения вероятности отнесения изображения к каждому из классов – судно, контейнеры, бочки, боеприпасы).

Вывод результатов расчетов на экранную форму (рис. 4).

По итогам финального тестирования программа показала правильность определения категорий для 116 новых изображений на уровне 91%.

Разработанный метод может быть использован для классификации подводных потенциально опасных объектов, как непосредственно на выходе гидролокатора бокового обзора, так и при постобработке накопленных записей.

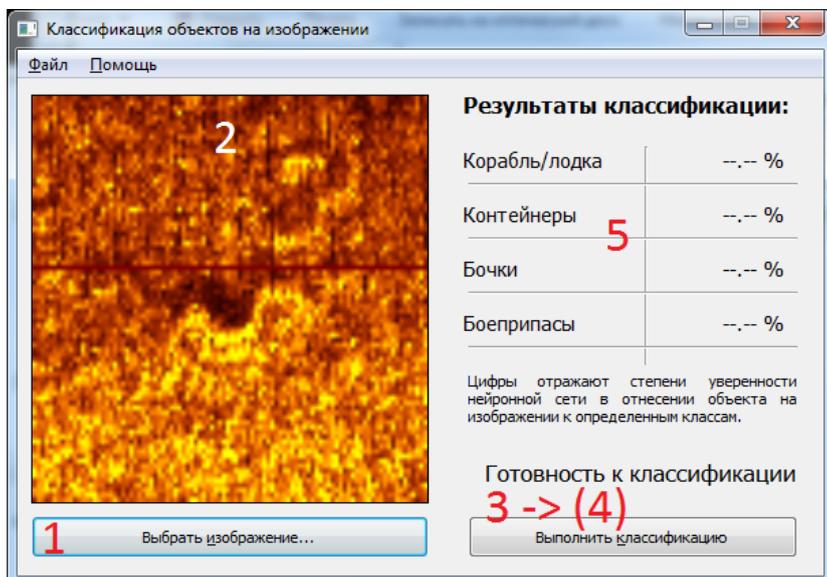
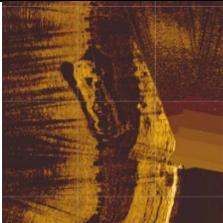
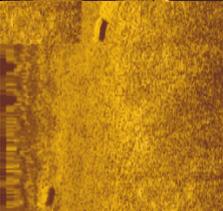
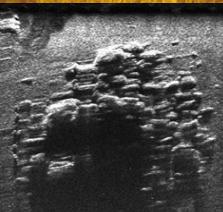


Рис. 4. Снимок экранной формы (номера соответствуют шагам алгоритма работы с программой)

В таблице представлены отдельные результаты работы программы.

Буквенные обозначения соответствуют следующим категориям: А – корабль/лодка, В – контейнеры, С – бочки, D – боеприпасы, Е – другое.

№ теста	Изображение	Вероятность отнесения объекта на изображении к категории, %				
		A	B	C	D	E
2		99,84	0,00	0,14	0,00	0,02
19		1,59	79,27	0,14	12,51	6,50
22		87,43	12,17	0,11	0,10	0,18

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Вяльшев А.И.** МЧС России и подводные потенциально опасные объекты. Технологии гражданской безопасности, том 14, № 1(51), Москва, 2017.
2. **Shmueli Galit, Lichtendahl Jr. Kenneth C.** Practical Time Series Forecasting with R. – Axelrod Schnall Publishers, 2016. – 232 pages.
3. **Галушкин А.И.** Нейронные сети: основы теории. – М.: Горячая линия–Телеком, 2010. – 496 с.

## **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОФИЛИРУЮЩИХ ЗОНДОВ НА БАЗЕ УНИФИЦИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

**Кочетов О.Ю.**

*Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН, Россия, 117997, г. Москва,  
Нахимовский проспект, д.36 Тел.: +7 (916) 129-4044, E-mail: ok@noiselab.ru*

Представлены отличительные особенности реализации встроеного программного обеспечения подводного профилирующего зонда на базе четвертого поколения унифицированной платформы управления автономным профилирующим аппаратом.

Some new features of autonomous underwater profiling probe embedded control software based on unified control platform for underwater profiling vehicles are presented.

Современные задачи оперативной океанографии выдвигают требования автоматизации исследований водной толщи. Крайне важным является регулярное автоматическое измерение вертикальных профилей параметров водной среды, для чего разрабатываются роботизированные зонды: как свободно перемещающиеся, так и работающие на заякоренной линии. Оперативная передача полученных измерений в случае скрытной постановки прибора осуществляется с помощью подводных средств связи, например, гидроакустическими модемами, а в случае возможности выхода зонда на поверхность может быть использовано спутниковое, сотовое или радио оборудование.

В Институте океанологии им. П.П. Шириова разработано, изготовлено и успешно испытано несколько различных вариантов опытных образцов профилирующих зондов, таких как: подводная лебедка [1] и зонд с изменяемой плавучестью [2], а кроме того малой серией производится профилограф «Аквалог» [3]. В целях наиболее эффективного использования результатов разработки и полученного опыта было принято решение о создании универсальной аппаратно-программной платформы для системы управления профилирующим зондом, объединяющей в себе функции управления двигателями и прочими исполнительными устройствами, опрос измерительных датчиков и накопление результатов

измерений, связь для оперативной передачи данных, планирования миссии прибора и т. д.

Такое решение позволяет гибко подходить к конфигурированию и компоновке разрабатываемых приборов и при этом эффективно использовать уже отработанную и испытанную архитектуру системы управления профилирующим зондом, поскольку в новых приборах применяется универсальный комплект управляющей электроники, а программное обеспечение строится на базе так называемого «фреймворка». Такой программный фреймворк был создан [4] и на его основе была разработана программа системы управления для подводной лебедки, которая успешно испытывалась в 2017 и 2018-м годах на гидрофизическом полигоне в Черном море, в том числе и с режимом передачи данных онлайн. Внешний вид лебедочного зонда представлен на рис. 1.

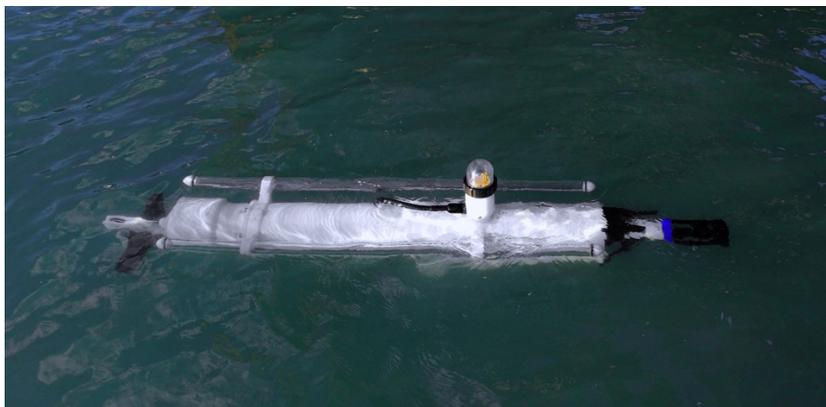


Рис. 1. Подводная лебедка во время испытаний, 2018 год

Профилирующие зонды обладают ограниченным набором встроенных сенсоров, которые необходимы для базового функционала прибора: обеспечения управляемого перемещения аппарата, ориентации и т.п. Для выполнения прочих измерений на зонд устанавливаются дополнительные датчики, являющиеся «полезной нагрузкой» аппарата. Очень важно обеспечить возможность подключения широкого спектра измерительных датчиков разных производителей. Для этого электронные компоненты зонда должны иметь подходящие интерфейсы, а программное обеспечение – позволять интегрировать работу с датчиками в управляющую систему, предоставляя возможности включения и вы-

ключения датчика, его конфигурирования, получения, хранения и передачи измеряемых величин.

Электронные платы четвертого поколения унифицированной платформы управления предоставляют для подключения внешних устройств 4 последовательных порта UART, оснащённых преобразователями уровней стандарта RS-232 и позволяющих вести обмен данными со скоростями до 90 кбит/с (115200бод), а также порты для подключения шин I<sup>2</sup>C и SPI.

Программный фреймворк системы управления предоставляет разработчику программный интерфейс (API) для создания подключаемых драйверов, взаимодействующих с внешними измерительными приборами и процедур проведения измерений. За это в структуре фреймворка отвечает модуль опроса внешних датчиков (МО).

Всего в МО может быть зарегистрировано одновременно до 31-го подключаемого драйвера измерительного прибора. В программном интерфейсе модуля определен набор процедур, составляющих цикл опроса датчика: включение, инициализация, запуск измерения, чтение результатов измерения (допускается как синхронное, так и асинхронное получение результатов), остановка измерения, деинициализация датчика, отключение. Для разработки драйвера используется шаблон в виде абстрактного класса C++, что позволяет применять удобный механизм наследования.

Данные от внешних измерительных датчиков поступают в ядро управляющей программы в виде унифицированной структуры, состоящей из двух полей: заголовка и приложенных данных. В заголовке определены идентификатор датчика, время начала измерения и длина прилагаемых данных. В зависимости от выполняемой прибором задачи, данные могут быть просто сохранены на встроенном накопителе в журнальном файле измерений, либо подвергнуты какой-либо дополнительной обработке, например, упаковке или усреднению для передачи в режиме онлайн. Процедура обработки также определяется в МО, благодаря этому и описанному выше механизму подключаемых драйверов внешних датчиков достигается разделение кода ядра и кода, работающего с полезной нагрузкой прибора, что позволяет гибко и оперативно модифицировать конфигурацию аппарата в соответствии с требованиями задания.

При разработке четвертого поколения комплекта управляющей электроники было принято решение об отделении коммуникационного оборудования в отдельное периферийное устройство. Это расширяет возможности аппарата по передаче данных, поскольку позволяет приме-

нять передатчики различных стандартов (GSM-модемы, спутниковые модемы, радиопередатчики) с одним и тем же зондом.

В структуре программного фреймворка управляющей системы за операции по передаче данных отвечает модуль коммуникации (МК). Для взаимодействия с периферийным устройством передачи данных в МК реализован специализированный протокол, позволяющий отправлять и принимать сообщения длиной до 512 байт. В случае использования спутниковых или GSM модемов отправляемые сообщения через сеть интернет поступают на удаленный сервер, где реализованы необходимые процедуры для сохранения входящих сообщений в базе данных, их интерпретации и средства доступа к этим данным.

В настоящее время продолжается работа по портированию фреймворка и управляющего программного обеспечения подводной лебедки на комплект электроники четвертого поколения, а также разработка на его основе управляющей системы для зонда с переменной плавучестью.

Работа выполняется по гранту РФФИ № 18-05-60124 — Арктика при частичной поддержке по теме Госзадания Минобрнауки № 0149-2019-0011.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Островский А.Г., Швоев Д.А.** Подводный лебедочный зонд // Пат. РФ № 2622677. Заявл. 31.01.2017. Оpubл. 25.01.2018. Бюл. № 3.
2. **Островский А.Г., Леденев В.В., Швоев Д.А.** Автономный дрейфующий, профилирующий океанологический буй // Пат. РФ № 2609849. Заявл. 27.11.2015. Оpubл. 06.02.2017. Бюл. № 4.
3. **Островский А.Г., Зацепин А.Г., Соловьев В.А., Цибульский А.Л., Швоев Д.А.** Автономный мобильный аппаратно-программный комплекс вертикального зондирования морской среды на заякоренной буйковой станции // Океанология. 2013. Т. 53. № 2. С. 259–268.
4. **Кочетов О.Ю., Островский А.Г., Волков С.В., Ольшанский В.М.** Унифицированная аппаратно-программная платформа системы управления автономных подводных профилирующих аппаратов // Подводные исследования и робототехника. 2018. №1(25). С. 59–66.

**ВОЗМОЖНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ  
АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ТРЕКОВ СУДОВ В  
ОТРАСЛЕВОЙ СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА  
РОСРЫБОЛОВСТВА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДИКИ ВЫЯВЛЕНИЯ  
ПЕРИОДОВ СБЛИЖЕНИЯ СУДОВ**

**Белоконь З.С.<sup>1</sup>, Василец П.М.<sup>2</sup>, Дегай А.Ю.<sup>1</sup>, Пырков В.Н.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований РАН Российской академии наук (ИКИ РАН), ул. Профсоюзная 84/32, 117997, Москва, 8 (495) 333-53-13, belokon@d902.iki.rssi.ru*

<sup>2</sup> *Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, ул. Набережная, 18, 683000, г. Петропавловск-Камчатский, 8 (415-2) 41-27-01, vasilets@kamniro.ru*

В докладе представлен алгоритм автоматического выявления периодов сближения судов в Отраслевой системе мониторинга Росрыболовства. Описана оптимизация вышеуказанного алгоритма нахождения совпадения треков судов с помощью совместного использования геометрического анализа и возможностей СУБД.

The algorithm for automatic identification of periods of rapprochement of vessels in the fisheries monitoring system is presented. The optimization of the above algorithm for finding the coincidence of ship tracks using the joint use of geometric analysis and DBMS capabilities is described.

В докладе представлен алгоритм автоматического выявления периодов сближения судов Отраслевой системы мониторинга Росрыболовства (ОСМ). ОСМ введена в эксплуатацию в 2000 году и эффективно используется подведомственными организациями Росрыболовства, а также пограничными управлениями. В ОСМ как в любой системе мониторинга важным является вопрос достоверности информации, которой оперирует система. В работе [1] показано, что внедрение в ОСМ возможностей Автоматической идентификационной системы (АИС), а также комплексный контроль достоверности позиций судна с помощью спутниковых радиолокационных данных позволило достигнуть удовле-

творительных результатов в отношении достоверности спутниковых позиционных данных от технических средств контроля в ОСМ.

В отношении объемов вылова водных биологических ресурсов в районах промысла, нормативно определенных разрешениями на добычу (вылов) передаваемых капитанами в судовых суточных донесениях (ССД) вопрос достоверности информации остается не решенным. [2].

В работе [3] показано, что на основе сопоставления автоматической классификации треков судна и данных ССД, можно выделить элементы отчетности судна о вылове, которые могут являться недостоверными. Основой анализа в вышеуказанной работе является простейшая классификация треков, в которой выделялось три класса:

- если скорость судна более пяти узлов фрагмент трека считался переходом или поиском;
- при скорости менее двух узлов фрагмент трека считался дрейфом;
- остальные фрагменты трека считались тралением.

Затем треки траления тестового судна привязывались к промысловой зоне.

Были обнаружены серьезные не соответствия между отчетами по вылову в ССД и траловыми усилиями, например, не каждому дневному вылову находилось соответствие дневного промыслового усилия. Наглядно рассогласование представлено на рис. 1.

Естественным развитием идей описанных выше является улучшение предложенной выше простейшей классификации треков.

В данном докладе представлен алгоритм выделения периодов сближения судов. Такие сближения чаще всего связаны с перегрузом и не могут быть отнесены к тралению. Алгоритм отработывался на треках тридцати тестовых судов за февраль 2018 года.

Основной трудностью выделения периодов сближения судов (далее совпадения треков) является большое количество позиционных данных. Так для тридцати судов за февраль необходимо было провести анализ около ста тысяч позиций. В первую очередь для выделения наиболее вероятных данных о позициях для выявления совпадения треков были использованы возможности СУБД. Прямое округление координат и времени дало возможные совпадения в двух тысячах пространственно временных ячейках. Следующим шагом были выбраны пространственно временные ячейки, в которых два судна находились одновременно последовательно два часа и более. Таких периодов оказалось шестьдесят пять.

Полученные в результате операций с СУБД перспективные в отношении совпадения треков периоды затем анализировались геометрически. Пример совпадения треков представлен на рис. 2.

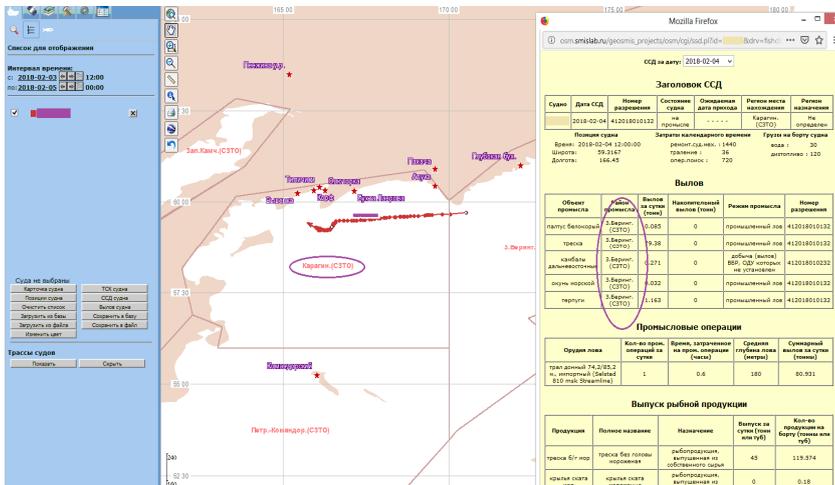


Рис. 1. Пример искажения отчетности за 4 февраля. Судно ведет промысел в Карагинской подзоне, а декларирует вылов в Западно-Беринговоморской зоне, что не соответствует позиционным спутниковым данным

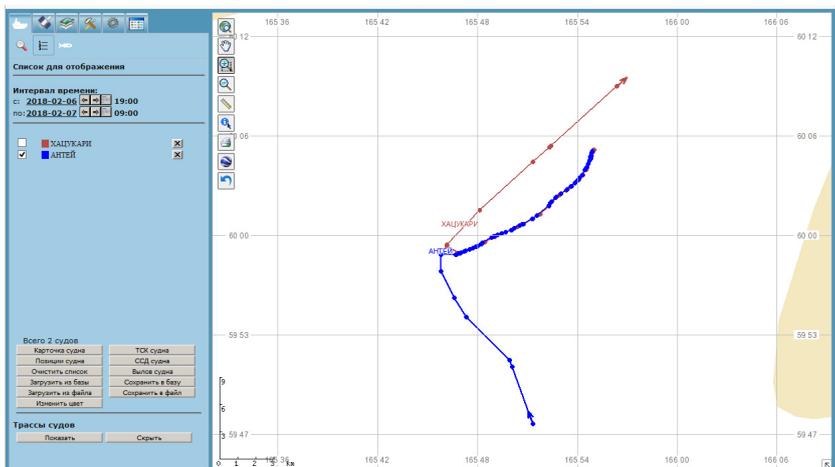


Рис. 2. Пример совпадения треков (периода сближения судов)

На основе проведенного анализа в докладе приведены оценки повышения точности автоматической классификации треков с использованием информации о совпадении треков.

Работы проводились с использованием технологий и данных центра коллективного пользования ЦКП "ИКИ-Мониторинг" [4].

Работа выполнена при поддержке ФАНО (тема "Мониторинг", госрегистрация № 01.20.0.2.00164).

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Василец П.М.** Возможности оценки достоверности пространственной информации по вылову донных рыб в отраслевой системе мониторинга Росрыболовства на основе комплексного анализа производственно-промышленной отчетности и данных спутникового позиционирования промысловых судов.

2. **Терентьев Д.А., Коробов С.А., Пырков В.Н., Солодилов А.В., Дегай А. Ю.** Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15.– в печати.

3. **Василец П.М.** Анализ пространственного распределения вылова камбал за 2011–2016 годы в прикамчатских и смежных с ними районах по данным отраслевой системы мониторинга / Д.А.Терентьев, В.Н. Пырков // Исследования водных биологич. ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана: Сб. науч. тр. Камчатского НИИ рыбного хозяйства и океанографии. Петропавловск-Камчатский, 2017. Вып. 47. – С. 65–77.

4. **Пырков В.Н., Василец П.М., Дегай А. Ю., Андреев М.В., Черных В.Н., Солодилов А.В.** / Новый подход к верификации отчетов о вылове на основе классификации треков спутникового позиционирования в системе мониторинга рыболовства // Тезисы докладов Шестнадцатой Всероссийской открытой конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (12-16.11.2018, г. Москва). В печати.

5. **Лурия Е.А.** Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды / А.А. Прошин, М.А. Бурцев, И.В. Балашов, С.А. Барталев, В.Ю. Ефремов, А.В. Кашницкий, А.А. Мазуров, А.М. Матвеев., О.А. Суднева, И.Г. Сычугов, В.А. Толпин, И.А. Уваров. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т.12. № 5. – С. 263–284.

## АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

### А

Александрова А. Г., 92  
Амбросимов А.К., 47, 51, 65  
Ананьев Р.А., 152  
Анисимов И.М., 183  
Анисимов М.В., 233  
Анциферов М.Ю., 22  
Артемьев В.А., 160, 229  
Артюхин В.В., 239

### Б

Бадулин С.В., 100  
Белевитнев Я.И., 183  
Белоконь З.С., 9, 251  
Бондаренко А.Л., 79, 84  
Бохойо Ф., 126  
Бреховских А.Л., 126, 140, 144  
Буланов А.В., 168  
Булатов В.В., 32  
Быстранов В.Б., 109  
Бышев В.И., 233

### В

Вайншток А.П., 206  
Василец П.М., 9, 251  
Вершинин В.В., 100  
Владимиров Ю.В., 32  
Вольтер Е.Р., 140, 144  
Воронин А.А., 104  
Вязилов Е.Д., 219  
Вязилова Н.А., 44  
Вялышев А.И., 239

### Г

Гайский В.А., 60  
Гайский П.В., 60  
Галиндо-Зальдивар Х., 126  
Гасников О.А., 211  
Гитис В.Г., 206  
Горин И.И., 104  
Греков А.Н., 88  
Греков Н.А., 88  
Григорьев А.В., 93, 229  
Гринберг О.В., 126, 140, 144  
Гудошников Ю.П., 40

### Д

Данилов А.И., 237  
Даньшина А.В., 56  
Дегай А.Ю., 9, 251  
Денисов Д.М., 71  
Дерендяев А.Б., 206  
Дианский Н.А., 93  
Дмитревский Н.Н., 152  
Добров В.М., 239  
Дорошенко С.Ю., 223

### Е

Евсенко Е.И., 126, 140, 144  
Егоров А.В., 192, 198, 201, 202

### З

Захаров Е.В., 140, 144  
Зацепин А. Г., 92  
Зацепин А.Г., 93, 100

### И

Иванов А.Ю., 113  
Иванов В.В., 69, 179  
Ивонин Д.В., 100  
Ившин В.А., 22

### К

Калинина В.И., 109  
Карсаков А.Л., 22  
Клювиткин А.А., 51, 65  
Клюев М.С., 126, 140, 144  
Ковачев С.А., 175  
Коновалов Б.В., 113  
Коротаев В.Н., 179, 188  
Костяной А.Г., 11  
Косьян Р.Д., 140, 144  
Кочетов О.Ю., 117, 247  
Кубряков А.И., 93  
Кузнецов М.Ю., 215  
Куклев С.Б., 100, 140, 144  
Курин В.В., 109

### Л

Лазарюк А.Ю., 18  
Левченко Д.Г., 100  
Лискин В.А., 192, 196, 198  
Лобанов В.Б., 18, 104

Лобо Ф., 126  
Лукьянова Н.Н., 156  
Любин Ю.Н., 239

### **М**

Мазуркевич А.Н., 140, 144  
Малеханов А.И., 109  
Маргос Я., 126  
Мелузов А.А., 152  
Мельников В.А., 47, 51, 65  
Мионов Е.У., 237  
Михайлов Н.Н., 219  
Мишукова Г.И., 164  
Мутовкин А.Д., 183  
Мысленков С. А., 92  
Мысливец В.И., 179, 188

### **Н**

Навроцкий В.В., 95, 104  
Нагорный И.Г., 168  
Новотрясов В.В., 75

### **О**

Ольховский С.В., 140, 144  
Островский А.Г., 18, 100

### **П**

Павлова Е.П., 104  
Перескоков А.И., 15  
Пермяков М.С., 75  
Петров К.Н., 206  
Пиотух В.Б., 92  
Поважный В.В., 171  
Подымов И.С., 136, 148  
Подымова Т.М., 136, 148  
Поляничко В.И., 215  
Поротов А.В., 179, 188  
Пронин А.А., 122, 156, 183, 188  
Пронина Т.С., 36  
Пырков В.Н., 9, 251

### **Р**

Ракитин И.Я., 126  
Ремизова Д.М., 152  
Репина И.А., 69  
Римский-Корсаков Н.А., 183, 188, 192,  
196, 198, 201  
Рожков А.Н., 202  
Руано П., 126

Руссак Ю.С., 223

### **С**

Сагалевич А.М., 129  
Сажнева А.Э., 126, 140, 144  
Сергеев А.Ф., 104  
Серебряный А.Н., 71  
Серых И.В., 11, 233  
Сидорова А.Н., 233  
Смирнов В.Г., 237  
Смирнов И.П., 109  
Соколов В.А., 63  
Соловьев Д.М., 92, 113  
Сычев Е.Н., 88

### **Т**

Таскаев В.Р., 160  
Татарников В.О., 36  
Терлеева Н.В., 113  
Тихонова Н.Ф., 223  
Трофимов А.Г., 22  
Трусенкова О.О., 18

### **У**

Убарчук И.А., 215  
Уваров В.В., 109

### **Х**

Халиков И.С., 122, 156  
Хилько А.А., 109  
Хилько А.И., 109  
Химченко Е.Е., 71  
Хлебников Д.В., 113

### **Ч**

Чанцев В.Ю., 40

### **Ш**

Шабалин Н.В., 152  
Шатравин А.В., 117  
Шрейдер А.А., 126, 140, 144

### **Щ**

Щевьев В. А., 26, 29

### **Ю**

Югай И.Г., 164

### **Я**

Ярошук И.О., 75  
Яцук А.В., 164