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

XIV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ» (МСОИ-2015)

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Том I

МОСКВА 2015

УДК 551.46.07
ББК 26.221, М 34

Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XIV Международной научно-технической конференции «МСОИ-2015». Том I. – М., 2015. – 311 с.
ISBN

Настоящее издание является продолжением публикаций материалов конференций МСОИ. В сборнике представлены доклады ученых-океанологов, инженеров, аспирантов и студентов, посвященные созданию и эксплуатации технических средств и методов исследования и освоения Мирового океана.

В томе I рассмотрены гидрофизические подводные измерительные приборы и комплексы, методы зондирования, технологии геолого-геофизических ресурсных исследований в океане.

This publication is a continuation of conference materials МСОИ. The collection contains reports of scientists oceanographers, engineers and students dedicated to the creation and operation of technical means and methods of research and exploration of the oceans.

Volume I considered hydrophysical underwater instrumentation and systems, methods of sensing technology, geological and geophysical studies in the ocean resource

Конференция проводится при финансовой поддержке Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Российского фонда фундаментальных исследований (грант 15-05-20081), МГТУ им.Н.Э.Баумана.

Составители сборника: д.т.н. Римский-Корсаков Н.А.,
к.т.н. Зарецкий А.В.
Редакционная коллегия:
д.ф-м.н. Корчагин Н.Н., к.г-м.н. Егоров А.В., д.т.н. Вельтищев В.В., д.т.н. Нерсесов Б.А., д.б.н. Флинт М.В., Свиридов С.А.

Все доклады публикуются в авторской редакции.

ББК 26.221, М 34 © ИО РАН 2015

НАУЧНЫЙ КОМИТЕТ МСОИ-2015

1	**Нигматулин Р.И.**	академик РАН, директор ИО РАН, председатель
2	**Смирнов Г.В.**	академик РАН, зав. лабораторией ИО-РАН, сопредседатель
3	**Римский-Корсаков Н.А.**	д.т.н., заместитель директора по морской технике ИО РАН, сопредседатель
4	**Жмур В.В.**	д.ф.-м.н., нач. управления РФФИ, сопредседатель
5	**Вельтищев В.В.**	д.т.н., зав. кафедрой МГТУ им. Н.Э.Баумана, сопредседатель
6	**Зарецкий А.В.**	к.т.н., вед.н.с., ИО РАН, ученый секретарь
7	**Лобковский Л.И.**	заместитель директора ИО РАН, чл.-корр. РАН
8	**Завьялов П.О.**	заместитель директора ИО РАН, д.г.н.
9	**Флинт М.В.**	заместитель директора ИО РАН, д.б.н
10	**Вялышев А.И.**	д.ф.-м.н, главный научный сотр. ВНИИ ГОЧС МЧС РФ
11	**Сагалевич А.М.**	д.т.н., зав. лаб. ИО РАН, Герой России
12	**Студенецкий А.С.**	заведующий отделом Министерства образования и науки РФ
13	**Мотыжов С.В.**	Морской гидрофизический институт, Севастополь, д.т.н.,
14	**Палазов Атанас**	директор Института океанологии БАН, (Болгария)
15	**Алексеев А.В.**	чл.-корр.РАН, гл.н.с. ИО РАН
16	**Добролюбов С.А.**	чл.-корр., зам декана географического факультета МГУ
17	**Нерсесов Б.А.**	д.т.н., гл.н.с., ИО РАН
18	**Вязилов Е.Д.**	д.т.н., зав. лаб. ЦОД ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» Росгидрометцентра
19	**Суконкин С.Я.**	директор ОКБ ОТ РАН
20	**Покрышкин А.А.**	заместитель директора ИО РАН
21	**Яхонтов Б.О.**	к.б.н., ст. научный сотр. ИО РАН

ОРГКОМИТЕТ МСОИ-2015

1.	**Римский-Корсаков Н.А.**	председатель, д.т.н., зам. директора ИО РАН
2.	**Смирнов Г.В.**	сопредседатель, академик РАН, зав.лаб. ИО РАН
3.	**Зарецкий А.В.**	ученый секретарь, к.т.н., вед.н.с. ИО РАН
	Члены оргкомитета:	
4.	**Корчагин Н.Н.**	д.ф-м.н., гл.н.с. ИО РАН
5.	**Егоров А.В.**	к.г-м.н., зав.лабораторией ИО РАН
6	**Свиридов С.А.**	зав. отделом инф. технологий ИО РАН
7.	**Метальников А.А.**	ст.н.с, к.ф.-м.н. ИО РАН
8	**Рогинский К.А.**	к.т.н., зав. лабораторией ИО РАН
9.	**Смирнов А.В.**	к.т.н., ученый секретарь НИИСМ МГТУ им. Н.Э.Баумана
10.	**Панов В.А.**	зам. директора ИО РАН
11.	**Карабашева Э.И.**	научный сотрудник ИО РАН
12.	**Пронин А.А.**	научный сотрудник ИО РАН
13.	**Куликова Т.А.**	секретарь конференции

Координационная рабочая группа:

Науч. сотр. Тихонова Н. Ф., вед. инж. Водяная Е. Г., ст. инж. Ёлкина М. М., вед. инж. Соколов А. А., вед. инж. Молчанов Б. В., вед. инж. Марин В. М., инж. Белевитнев Я. И.

СОДЕРЖАНИЕ

I. МЕТОДЫ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОКЕАНА, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И КОМПЛЕКСЫ

Кабельная система берегового мониторинга состояния водной среды в режиме реального времени
Баранов В. И., Зацепин А. Г., Куклев С. Б., Подымов О. И., Очередник В. В. 14

Исследование метрологических параметров экспериментальных термодатчиков
Пака В. Т., Кондрашов А. А., Артемьева Т. С., Бондарь А. В., Корж А. О. 16

Измерительно-технологическая платформа для исследования новых измерительных каналов
Смирнов Г. В., Аистов Е. А., Оленин А. Л. 17

Использование дрейфующих буев для исследования течений на шельфе Черного моря
Сильвестрова К. П., Мысленков С. А., Зацепин А. Г., Краюшкин Е. В., Баранов В. И.[1] 19

Оперативный прогноз цунами на побережье Дальнего Востока России
Золотухин Д. Е., Ивельская Т. Н. 23

Предварительные результаты исследования прибрежных апвеллингов и даунвеллингов на гидрофизическом полигоне ИО РАН в Черном море
Зацепин А. Г., Баранов В. И., Куклев С. Б., Мельников В. А., Пиотух В. Б., Подымов О. И., Сильвестрова К. П., Станичный С. В. 27

Модельный анализ течений у входных молов Балтийского пролива
Соколов А. Н., Бабаков А. Н., Чубаренко Б. В. 30

Исследования горизонтальных течений, колебаний сероводородной границы и суточных миграций зоопланктона в северо-восточной части Черного моря на базе долговременных наблюдений с использованием автономного зонда-профилографа «Аквалог»
Подымов О. И., Арашкевич Е. Г., Зацепин А. Г., Островский А. Г., Соловьев В. А., Куклев С. Б. 34

Изменчивость вод холодного промежуточного слоя Балтийского моря в весенний период по данным натурных измерений
Лобчук О. И. 38

Исследование динамических процессов в Азовском море
Черкесов Л. В., Шульга Т. Я. *40*

Методика численного моделирования воздействия нелинейных волн на океанотехнические сооружения
Душко В. Р., Кушнир В. М., Крамарь В. А. *44*

Показатели качества измерений гидрофизических полей океана
Бабий В. И., Бабий М. В., Родионов А. А. *48*

Процессы переноса, обусловленные слабонелинейными внутренними волнами
Слепышев А. А. *53*

Влияние апвеллинга на изменчивость потоков тепла в прибрежной зоне Черного моря
Лемешко Е. Е., Репина И. А. *57*

Моделирование прибрежной циркуляции в районе дельты Дуная
Цыганова М. В., Лемешко Е. М., Рябцев Ю. Н., Фомин В. В. *60*

Инструментальные средства и методы комплексного мониторинга прибрежных и проливных акваторий
Чепыженко А. И., Чепыженко А. А. *61*

Термохалинная структура вод над шельфом солоноватого моря в период ранневесеннего прогрева
Багаев А. В., Чубаренко И. П. *65*

Гидрооптические исследования севастопольской бухты в осенний период
Латушкин А. А., Мартынов О. В. *68*

Динамика внутренних гравитационных волн в океане переменной глубины
Булатов В. В., Владимиров Ю. В. *72*

Особенности применения дрейфующих буев в Черном море для изучения течений и термической изменчивости в деятельном слое
Быков Е. М., Лунев Е. Г., Мотыжев С. В., Толстошеев А.П. *76*

Создание, испытание и внедрение дрейфующих буев, предназначенных для применения в полярных и приполярных регионах
Толстошеев А. П., Лунев Е. Г., Мотыжев С. В., Быков Е. М. *77*

Течения волновой природы в океанах и морях (волны Россби)
Щевьёв В. А. *78*

Возможно ли наблюдать спираль Экмана?
Щевьёв В. А. *83*

О сезонной изменчивости гипоксии в котловинах Каспийского моря
Амбросимов А. К. *86*

Штормовое воздействие на динамику течений в толще моря
Амбросимов А.К. *89*

Динамика вод северо-восточного сектора Среднего Каспия
Амбросимов А. К., Клювиткин А. А. *93*

Закономерности формирования явления Эль-Ниньо – Ла-Нинья долгопериодными океаническими волнами
Бондаренко А. Л. *98*

Мониторинг мирового океана с использованием измерителей Argo
Лебедев К. В. *102*

О погрешностях измерения волновых течений Мирового океана
Бондаренко А. Л. *106*

Лабораторное моделирование турбидитных течений на наклонном дне
Петрига А. А., Зацепин А. Г., Мельникова О. Е. *109*

Параметр $\delta^{18}O$ как гидрохимический трассер распресненных водных масс
Семерюк И. А., Намятов А. А. *113*

Перспективные технологии возобновляемой тепловой энергетики Мирового океана
Горлов А. А. *116*

Лабораторный стенд для калибровки измерителей скорости звука
Губин Н. А., Ченский Д. А., Ченский А. Г. *120*

Особенности глубоководных измерений и коррекции данных, получаемых зондами SEA-BIRD в японском море
Каплуненко Д. Д., Лазарюк А. Ю., Лобанов В. Б., Сагалаев С. Г. *123*

Разработка вертикального интерферометра для измерения гидроакустических шумов
Орлов В. О., Малах М. П., Гапоненко П. Л. *126*

Взаимодействие внутренних волн, распространяющихся в области пикноклина, с шельфовой зоной на основании результатов натурных и лабораторных исследований
Полетаева М. А. *129*

Новый вариант асимметричной виброзащищенной системы гидрофизических датчиков поля скорости, расположенных на теле вращения
Федотов Г. А. *133*

Экспериментальные исследования динамических нагрузок при разрушении поверхностных волн на наклонном дне
Кушнир В. М., Шоларь С. А. *137*

Гидрофизические исследования на полунатурном стенде 141
Воробьёва Е. С., Дудко Д. И., Фёдоров И. С., Колмак Р. В. *141*

К расчету электропроводности воды современного аральского моря по ее ионному составу
Стунжас П. А. *145*

Сезонная эволюция ХПС Балтийского моря
Степанова Н. Б., Чубаренко И. П. *149*

Алгоритм фильтрации импульсных помех на гидролокационном изображении
Оралов Д. В., Бородин М. А. *153*

Применение данных дистанционного зондирования при исследовании проявления апвеллинга в Юго-Восточной Балтике
Есюкова Е. Е., Чубаренко И.П., Стонт Ж.И. *156*

Прибор «BAIKAL-D» для мониторинга спектров поглощения и рассеяния света в водной среде Байкальского нейтринного телескопа
Рябов Е. В., Таращанский Б. А. *160*

Опыт разработки системы мониторинга короткопериодной изменчивости гидрофизических полей и процессов приливном арктическом море
Зимин А. В., Романенков Д. А., Козлов И. Е., Родионов А. А. *164*

Радиолокационные системы X-диапазона для мониторинга ветрового волнения и течений
Ивонин Д. В., Телегин В. А., Чернышов П. В., Мысленков С. А., Куклев С. Б. *168*

Интеркалибрация акустических доплеровских профилографов скорости течения и других измерителей на гидрофизическом полигоне ИО РАН
Зацепин А. Г., Баранов В. И., Куклев С. Б., Мельников В. А., Пиотух В. Б., Сильвестрова К. П. *172*

Лазерно-интерференционные методы и средства исследования океана
Долгих Г. И. *176*

Мониторинг гидрохимического и метеорологического состояния прибрежно-морской зоны бухты Рында, остров Русский
Толстоконева Е. Н. *178*

Многопараметрический мониторинг гидрофизических процессов в рамках Байкальского нейтринного проекта
Аврорин А. Д., Аврорин А. В., Айнутдинов В. М., Баннаш Р., Белолаптиков И. А., Богородский Д. Ю., Бруданин В. Б., Буднев Н. М., Гапоненко О. Н., Гафаров А. Р., Голубков К. В., Гресс Т. И., Данильченко И. А., Джилкибаев Ж.-А. М., Домогатский Г. В., Дорошенко А. А., Дячок А. Н., Жуков В. А., Загородников А. В., Зурбанов В. Л., Кебкал К. Г., Кебкал О. Г., Кожин А. В., Конищев К. В., Константинов Е. Н., Коробченко А. В., Кошель Ф. К., Кошечкин А. П., Кулепов В. Ф., Кулешов Д. А., Ляшук В. И., Миленин М. Б., Миргазов Р. А., Хонз З., Осипова Е. Р., Панфилов А. И., Паньков Л. В., Перевалов А. А., Плисковский Е. Н., Розанов М. И., Рубцов В. Ю., Рябов Е. В., Скурихин А. В., Смагина А. А., Суворова О. В., Табоненко В. А., Таращанский Б. А., Фиалковский С. В., Шайбонов Б. А., Шеифлер А. А., Широков А. В., Яковлев С. А. *182*

Взаимодействие плотностного течения на наклонном дне с широким пикноклином
Плаксина М. А., Пиголкина А. М., Елкин Д. М., Зацепин А. Г. *187*

Малогабаритное устройство для обмена информацией между автономным зондом-прозрачномером и персональным компьютером
Григорьев А. В., Артемьев В. А., Таскаев В. Р. *191*

Измерения подводного шума в прибрежной зоне Черного моря в 2013–2014 гг.
Шатравин А. В., Кочетов О. Ю., Цибульский А. Л., Веденев А. И. . *195*

Создание экспозиции «Глубина» в музее Мирового океана
Стрюк В. Л. *199*

II. ПРИБОРЫ И ТЕХНОЛОГИИ РЕСУРСНЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОКЕАНЕ

Мониторинг химического загрязнения морской среды в районах возможного затопления химического оружия в северо-восточной части Чёрного моря
Халиков И. С., Пронин А. А., Римский-Корсаков Н. А. *204*

Экспериментальные результаты двухчастотного профирования морского дна сигналом с линейной частной модуляцией
Каевицер В. И., Захаров А. И., Смольянинов И. В. *208*

Проявления подводных грязевых вулканов при гидролокационных исследованиях в акватории Таманского полуострова
Каевицер В. И., Кривцов А. П., Разманов В. М., Смольянинов И. В. *211*

Температурный иловый зонд
Пака В. Т., Кондрашов А. А., Подуфалов А. О., Бондарь А. В., Артемьева Т. С., Корж А. О. *215*

Кабельные донные сейсмостанции для комплексного мониторинга морских нефтегазоносных месторождений
Левченко Д. Г., Ковачев С. А., Лобковский Л. И., Ильинский Д. А., Рогинский К. А. *216*

Некоторые экспериментальные результаты по акустическому зондированию поддонных структур
Сычев В. А., Дмитриевский Н. Н., Куракин А. Л., Левченко О. В., Мутовкин А. Д., Либина Н. В. *220*

Выделение функции сейсмического источника с помощью эмпирической функции Грина
Крылов А. А., Иващенко А. И., Ковачев С. А., Лобковский Л. И. *224*

Длинномерный электроразведочный стример – новая технология при поисках УВ на шельфе
Ерофеев Ю. Г., Кяспер В. Э., Лисицын Е. Д., Лобковский Л. И., Петров А. А., Рогинский К. А., Тулупов А. В. *227*

Результаты гидролокационных исследований донного рельефа дельтовых рукавов Северной Двины
Иванов В. В., Коротаев В. Н., Пронин А. А., Римский-Корсаков Н. А. *230*

Загрязнение донных отложений озера байкал бенз(а)пиреном и другими ПАУ 234
Халиков И. С. *234*

Полициклические ароматические углеводороды в донных отложениях Баренцева и Карского морей
Халиков И. С. *238*

Определение бисфенола А с использованием твёрдофазной экстракции и высокоэффективной жидкостной хроматографии в воде
Халиков И. С. *242*

Подходы к построению акустической 3D модели по данным зондирования среды параметрическими гидроакустическими средствами
Либина Н. В. *244*

Гидролокатор бокового обзора с аппаратной ЛЧМ свёрткой
Безрукин А. Г., Токмачев Д. А., Ченский А. Г. *248*

Научно-исследовательские суда нового поколения
Могутин Ю. Б., Руденко М. С., Нечволодов Л. В. *251*

Некоторые результаты сейсмологического мониторинга в акватории Балтийского моря и в западной части Калининградской области
Ковачев С. А. *255*

Потоки кислорода и сероводорода на границе с донными отложениями как метод оценки экологического состояния
Орехова Н. А., Коновалов С. К. *259*

Проблемы идентификации источников нефтяного загрязнения морской среды (на примере Каспийского моря)
Островская Е. В., Колмыков Е. В., Асаева К. И. *263*

Поток CO_2 на границе раздела вода-атмосфера – показатель направления и интенсивности процессов цикла углерода
Хоружий Д. С., Медведев Е. В., Коновалов С. К. *267*

Влияние отбора и хранения проб воды на погрешность определения концентраций метана
Ковалева Е. С. *271*

Корреция инерционности зондовых данных (температура и кислород) при измерениях удна методом: сдвиг и опережение
Стунжас П. А., Тищенко П. Я. *274*

Использование записей слабых землетрясений для моделирования сильных движений при оценке сейсмической опасности
Крылов А. А., Иващенко А. И., Ковачев С. А., Лобковский Л. И...... *278*

Динамические нагрузки от разрушающихся волн в Севастопольской бухте
Иванова О. А., Кушнир В. М. *282*

Комплексный подход при оценке воздействия нефтегазового комплекса на окружающую среду Северного Каспия
Умербаева Р. И., Курапов А. А., Монахов С. К., Непоменко Л. Ф.... *286*

Применение метода 3D моделирования для оценки пространственной и пространственно-временной изменчивости среды
Либина Н. В., Черников А. Г. *290*

Низкочастотная антенна для параметрических гидроакустических средств
Лежнин В. А., Комар С. А...... *293*

Модернизация методики сбора, обработки и представления данных при исследовании морфолитодинамики русел рек и морских прибрежных акваторий
Белевитнев Я. И., Пронин А. А., Сурин М. Н...... *297*

Модернизированный лендер для взятия проб воды на границе вода–дно на малых глубинах
Лежнин В. А., Розанов А. Г., Гагарин В. И...... *301*

Электромагнитные методы исследования геологического строения дна морей и океанов
Пальшин Н. А. *304*

Сравнительный анализ параметров импульсных источников звука в воде
Дегтярев В. П., Дегтярев А. В., Тарасов С. П...... *305*

Авторский указатель..... 309

ДОКЛАДЫ

I. МЕТОДЫ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОКЕАНА, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И КОМПЛЕКСЫ

УДК 551.465

КАБЕЛЬНАЯ СИСТЕМА БЕРЕГОВОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ВОДНОЙ СРЕДЫ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Баранов В. И.[1], Зацепин А. Г.[2], Куклев С. Б.[1], Подымов О. И.[1], Очередник В. В.[1]

[1] Южное отделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 8(86141)2-80-69, Просторная, 1Г, 353467, г. Геленджик-7, Россия, baranovwlad@mail.ru; kuklev@ecologpro.ru

[2] Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-63-92, zatsepin@ocean.ru

We present a system consisting of bottom and moored hydrophysical stations deployed in the sea at the offshore distance up to 20 km connected to the coastal data center by a fiber-optic cable. It allows to conduct long-term measurements with the high spatial and time resolution and real-time data transmission with a data flow of 100 Mb/s.

В 2013 г. в районе г. Геленджик, на траверзе Голубой бухты между причалом Южного отделения ИО РАН и точкой с глубиной 22 м была развернута кабельная система мониторинга состояния водной среды с получением данных в реальном времени. Эта система, являющаяся составной частью постоянно действующего гидрофизического полигона, предназначена для долгосрочной регистрации гидрофизических параметров водной среды. С использованием этой системы можно оперативно проводить анализ данных по скорости течения, волнения моря, вертикальной температурной стратификации вод. Достоинствами системы являются: 1) оперативная передача данных с донных и заякоренных станций; 2) ее энергообеспеченность и независимость от автономных источников питания. В состав системы вошли: донная станция с акустическими доплеровскими профилографами скорости течения (ADCP) и заякоренная гирлянда термодатчиков с подповерхностной

плавучестью (рис. 1). Этими станциями обеспечивается регулярное получение вертикальных профилей температуры и скорости течения с высоким вертикальным (0.5–1 м) и временным разрешением (30 с). Обработка и анализ получаемых данных в купе с метеорологическими данными и спутниковой информацией позволяет исследовать широкий спектр процессов и механизмов, формирующих изменчивость гидрофизических полей: от короткопериодных внутренних волн до сезонных и межгодовых колебаний.

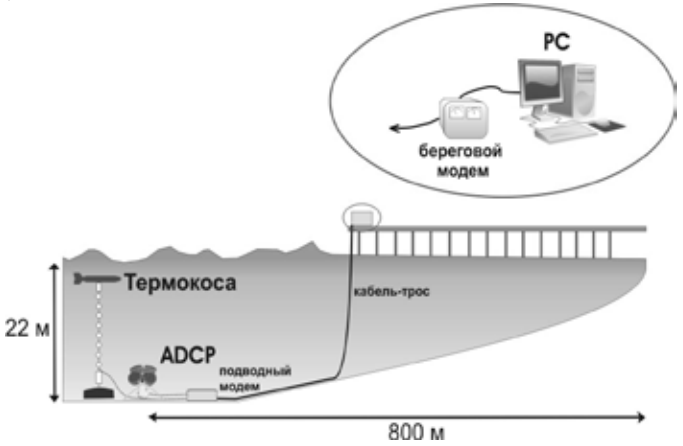


Рис. 1. Кабельная система берегового мониторинга состояния водной среды в оперативном режиме

В состав системы на данный момент входит высокоскоростной многоканальный модем с передачей информации со скоростью до 100 кб/с и устройством обеспечения питанием различных подводных устройств (ADCP и гирлянды термодатчиков), а также система регистрации и визуализации данных в режиме реального времени. Большим достоинством системы является возможность контроля работоспособности подводной части системы, а также экспресс анализа получаемых данных.

В будущем система получит дополнительное развитие путем увеличения пропускной способности кабеля до 1 Гб/с (за счет использования оптоволокна), что позволит увеличить информативную емкость получаемых данных и разнообразить их. В систему должны войти дополнительные устройства и датчики, обеспечивающие получение видео изображения окружающей среды, измеряющие подводный шум, а также вертикальные распределения таких параметров, как растворенный ки-

слород, флуоресценция хлорофилла-»*а*», прозрачность морской среды и некоторых других. С этой целью планируется изготовление, интеллектуальной подводной лебедки с тонким, но прочным кабелем, к которому подсоединен CTD-зонд с дополнительными датчиками в обтекаемом плавучем корпусе.

Работа выполняется при финансовой поддержке Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество», договор №10/2013/РГО-РФФИ, Соглашения № 14.604.21.0044 с Минобрнауки РФ, Программы 23 РАН, проекта РНФ 14-17-00382, а также грантов РФФИ №№14-05-00159, 14-05-00792.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Зацепин А. Г., Островский А. Г., Кременецкий В. В., Низов С. С., Пиотух В. Б., Соловьев В. А., Швоев Д. А., Цибульский А. Л., Куклев С. Б., Куклева О. Н., Москаленко Л. В., Подымов О. И., Баранов В. И., Кондрашов А. А., Корж А. О., Кубряков А. А., Соловьев Д. М., Станичный С. В.** Подспутниковый полигон для изучения гидрофизических процессов в шельфово-склоновой зоне Черного моря. // ФАО. 2014. №1. – С.16–29.

2. Техническое описание микроконтроллера ADuC848, 2003. – 68 с. [электронный ресурс]. URL: www.analog.com

3. **Сергиенко А. Б.** Цифровая обработка сигналов. // СПб.: Питер, 2002. – 608 с. ил.

УДК 002.55

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ТЕРМОДАТЧИКОВ

Пака В. Т.[1,2], Кондрашов А. А.[1,2], Артемьева Т. С.[1,2], Бондарь А. В.[1,2], Корж А. О.[1,2]

[1]ФГБУН Институт океанологии им П.П.Ширшова РАН
Атлантическое отделение (АО ИО РАН)
Пр. Мира, 1, 236022, Калининград
Тел. (4012)956911, факс (4012)916970, ioran@atlas.baltnet.ru
[2]Лаборатория экспериментальных гидрофизических исследований
ФГБУН Институт океанологии им.П.П. Ширшова РАН
Атлантическое отделение
Пр. Мира, 1, 236022, Калининград, 8(4012)452813, vpaka@mail.ru

The report presents the results of a comparative analysis of various heat-sensitive elements reinforced with a view to determining their dynamic performance and maximum sensitivity.

В работе представлены результаты сравнительного анализа различных армированных термочувствительных элементов с целью определения их динамических характеристик и предельной чувствительности. Предметом исследования являются термодатчики, исполненные на базе следующих элементов: пленочного платинового Honeywell 700 Series Platinum RTD, полупроводникового терморезистора ММТ-1, экспериментального медного датчика и бусинкового термистора FP07. Исследования производились на измерительном стенде, собранном на основе аналогово-цифрового микроконтроллера ADUC848 с использованием галлиевого стандарта температуры, тройной точки воды и водяного термостата ТВП-6. В процессе испытаний проводились измерения температуры перегрева чувствительного элемента.

Каждый тип температурного датчика может быть рекомендован для оптимизации определенных видов океанографических приборов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Техническое описание микроконтроллера ADuC848, 2003. – 68 с. [Электронный ресурс]. URL: http://www.analog.com.

2. Техническое описание пленочных платиновых датчиков температуры Honeywell 700 Series Platinum RTD – Freeport, Illinois, USA, 2005. – 4 с. [Электронный ресурс].
URL: http://www.honeywell.com/sensing

3. Техническое описание полупроводникового терморезистора ММТ-1. 2005. – 1 с. [Электронный ресурс]. URL: http://lib.chipdip.ru

УДК 551.465

ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

Смирнов Г. В., Аистов Е. А., Оленин А. Л.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва,
8(499)1245958,gvsmirnov@ocean.ru, olenant@hotmail.com

The measuring system for research of new oceanology sensor is considered

В докладе представлены результаты работы по созданию многоканальной измерительно-технологической платформы, предназначенной для отработки и испытаний в реальных морских условиях новых океанологических измерительных каналов (датчиков).

Платформа представляет собой специализированный многоканальный погружаемый измерительный комплекс, состоящий из:

– многоканального погружаемого гидролого-оптико-химического зонда, куда устанавливается искомый измерительный канал;

– волоконно-оптической линии связи, состоящей из волоконно-оптического кабель-троса и многовходовых оптических модемов (на зонде и на судне);

– судового оборудования, состоящего из электрической кабель-тросовой лебедки, вращающихся электрического и оптического переходов, блока управления, рабочего места операторов (бортовая ЭВМ и GPS-приемник).

Платформа позволяет работать исследуемыми каналами на глубине до 300 м, обеспечивая при этом:

– высокоскоростную передачу данных на борт судна (до 4-х потоков Ethernet 100 Mbit; 1канал RS232);

– установочное место для канала на силовой раме погружаемого зонда;

– требуемую мощность электропитания канала (до 200 Вт);

– получение граничных гидрофизических условий в точке измерения.

Погружаемый зонд снабжен комплектом стандартных гидрофизических каналов, что позволяет осуществлять с помощью платформы традиционные гидрофизические измерения и измерения с новыми измерительными каналами.

Работоспособность платформы подтверждена в реальных морских условиях при выполнении с её помощью зондирований в Чёрном море с НИС “Денеб” Южного Научного Центра РАН.

УДК 551.465

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕЙФУЮЩИХ БУЕВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕЧЕНИЙ НА ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Сильвестрова К. П.[1], Мысленков С. А.[2], Зацепин А. Г.[1], Краюшкин Е. В.[2], Баранов В. И.[1]

[1]Институт Океанологии им. П.П.Ширшова РАН
117997, Москва, Нахимовский проспект д.36,
8(499)124-63-92, ksenia.ocean@yandex.ru

[2]Московский Государственный Университет им. М.В.Ломоносова,
Географический факультет, Кафедра океанологии,
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 8(495)9392215
stasocean@gmail.com

In 2012 with the support of Russian Foundation for Basic Research we made 16 drifters to measure surface currents. Drifters experiment is one of the effective methods of shelf water dynamics research. An optional battery pack allows extent autonomy to 19 days (drifter covered a distance of ~ 300 km). There are new data collected in 2013 and 2014 presented in this paper.

Первые комплексные дрифтерные эксперименты в Черном море проводились в 1987 и 1988 г. [1]. Цель этих экспериментов состояла в исследовании поля скорости Основного черноморского течения (ОЧТ) в западной части моря. В 1999 г. начались исследования Черного моря при помощи лагранжевых SVP- и SVPH-дрифтеров, соответствующих международным стандартам, для изучения циркуляции вод в верхнем слое моря. Работы осуществлялись в рамках экспериментов для развития черноморского сегмента GOOS (Global Ocean Observing System) [2]. В 2009 г. в рамках проекта «Iridium» выполнено несколько широкомасштабных экспериментов в Черном море с термопрофилирующими дрифтерами «Iridium SVP». Более подробно история и развитие дрифтерных технологий в Черном море и мировом океане изложены в работе [1].

В нашей работе для получения данных о течениях использовалась оригинальная технология: дрифтеры с GPS-позиционированием и GSM- или GPRS-передачей данных, что позволяет получать данные о переме-

щении дрейфующего буя с дискретностью до 1 мин. и в горизонтальном масштабе до 10 м [3].

Разработанный дрейфующий буй представляет собой конструкцию, состоящую из поплавка с закрепленным на нем ГНСС-приемником и GSM-модулем передачи данных, подводного паруса высотой 100 см и груза (рис. 1).

Рис. 1. Конструкция дрейфующего буя

Основное требование к конструкции дрейфующих буев для корректного измерения течений — такое соотношение надводной и подводной частей, которое позволяет минимизировать влияние ветра на движение поплавка. Для нашего дрейфующего буя, в соответствии с формулой из работы [4] рассчитано предельное влияние ветра на дрейф поплавка. Эта формула учитывает скорость ветра (в нашем случае максимальная скорость ветра составляла ~ 20 м/с), лобовое сопротивление надводной части и соотношение надводной и подводной частей. Если наблюдаемая скорость течений составляют порядка 50–80 см/с, то влияние ветрового дрейфа составит не более 5 %. Подводный парус может быть размещен

на различной глубине при помощи соединительного троса. В проводимых экспериментах подводный парус находился на глубине 3–4 м, что было сделано для сравнения с данными буксируемого акустического доплеровского профилографа, у которого существует теневая зона в поверхностном соле. В одном из экспериментов паруса располагались на глубинах 1, 3, 5, 8, 15 м для оценки эффекта экмановского сдвига.

Датчики GPS имеют внутреннюю память до 10 000 точек, в случае отсутствия связи сохраняют координаты в память, при возврате в зону сети GSM – пересылают данные на сервер. Таким образом, если увеличить батарейный блок, поместить дрифтеры в Основное Черноморское течение, то при периодическом попадании в зону GSM можно повторить эксперименты, описанные в работе [2], но со значительно меньшими затратами.

В 2013 г. было осуществлено 3 дрифтерных эксперимента:

- 20 июня (пробный запуск) продолжительность 6 часов, 3 буя;
- 24 июня продолжительность 1 сутки 6 буев;
- 29 июня продолжительность 1 сутки 10 буев.

В 2014 г. было осуществлено 4 дрифтерных эксперимента:

- 24 июня продолжительность 1 сутки, 12 дрифтеров;
- 30 июня продолжительность 1 сутки, 4 дрифтера;
- 3 июля продолжительность 1 сутки, 5 дрифтеров;
- 29 сентября продолжительность 1 сутки 10 дрифтеров (у одного продолжительность 19 суток).

а б

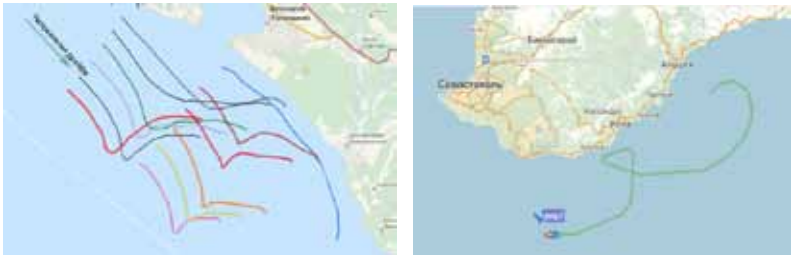


Рис. 2. а – эксперимент 24 июня 2014 г.
б – часть траектории движения буя в окрестностях п-ова Крым,
(эксперимент 29 сентября)

24 июня 2014 года 12 дрифтеров были выпущены вдоль двух разрезов перпендикулярных берегу. Глубина заглубления паруса 3–4 м. Рас-

стояние между дрифтерами на одном разрезе около 2 км, расстояние между разрезами около 10 км.

Все дрифтеры двигались в юго-восточном направлении, со скоростью порядка 15 см/с (рис. 2а). Структуру потока можно охарактеризовать как параллельно-струйную, поток был направлен вдоль берега. В ночь с 24 на 25 июня траектории 10 из 12 дрифтеров синхронно развернулись в сторону открытого моря, а через 2 часа все траектории вернулись к состоянию близкому к состоянию начала эксперимента. Только 2 дрифтера, находившиеся ближе всего к берегу практически не отреагировали на ночное отклонение, скорее всего они находились в струе узкого и более устойчивого вдольберегового течения. Ветер за эти сутки был слабым (3–4 м/с) и неустойчивым. Характерные скорости течений в первые часы эксперимента составляли 15–20 см/с. Дрифтеры вначале двигались в одном направлении, кроме одного дрифтера выпущенного ближе всего к входу в Геленджикскую бухту. Все 6 траекторий дрифтеров, выпущенных на западном разрезе практически прямолинейны, в то время как траектории на восточном разрезе имеют слабую антициклоническую завихренность .Таким образом, можно заключить, что вначале эксперимента наблюдалось устойчивое и весьма однородное по пространству вдольбереговое течение со средней скоростью 20 см/с.

Один из дрифтеров 29 сентября 2014 года был снабжен дополнительным батарейным блоком и переведен в режим определения раз в 3 часа, что позволило отслеживать его в течение 19 суток. Дрифтер предположительно попал в струю ОЧТ на расстоянии 10 миль от Голубой бухты и далее двигался в западном направлении к берегам Крыма (рис. 2б). К сожалению, из-за перебоев с GSM связью часть траектории восстановить не удалось, однако в районе южного берега Крыма можно наблюдать инерционные петли.

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

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Мотыжев С. В., Лунев Е. Г., Толстошеев А. П.** Развитие дрифтерных технологий и их внедрение в практику океанографических наблюдений в черном море и мировом океане.// Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. – Вып. 24. – С. 259–273.

2. **Журбас В. М., Зацепин А. Г., Григорьева Ю. В.** и др. Циркуляция вод и характеристики разномасштабных течений в верхнем слое Черного моря по дрифтерным данным // Океанология, 2004. Т. 44. – № 1. – С. 34–48.

3. **Мысленков С. А., Самсонов Т. Е.** Исследование течений на шельфе Черного моря с помощью ГНСС-мониторинга // Изв. Вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 2014. № 3. С. 60–68.

4. Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях. Л.: Гидрометеоиздат, 1977.

УДК 551.466.62

ОПЕРАТИВНЫЙ ПРОГНОЗ ЦУНАМИ НА ПОБЕРЕЖЬЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

Золотухин Д.Е. [1], Ивельская Т.Н. [2]

[1] Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН,
ул. Науки, 1Б, 693022, г. Южно-Сахалинск,
8(4242)791-517, nauka@imgg.ru
[2] Центр цунами, Сахалинское Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды,
ул. Западная, 78, 693000, г. Южно-Сахалинск,
8(4242)722-820, TWC@Sakhalin.ru

Paper presents the spatial detail of the magnitude- geographical criterion of tsunami earthquakes in the Japan Sea and in the Pacific Ocean east of the Kuril Islands. Practical implementation of this development would reduce the number of both false alarms and omissions of tsunami.

Основным рабочим методом, применяемым Службой предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России при принятии решения об объявлении тревоги цунами, является сейсмический. Возможность возникновения цунами в результате землетрясения оценивается по магнитудно-географическому критерию. Землетрясение считается цунамиопасным, если его эпицентр попадает в цунамигенную зону, а интенсивность превышает заданное пороговое значение магнитуды.

Так, для землетрясений в Японском море, Охотском море и в акватории Тихого океана восточнее Курильских островов пороговое значение магнитуды составляет 7,0 [1, 2]. Эффективность данного магнитудно-географического критерия можно оценить с помощью анализа исторические сведений о проявлении цунами на Дальнем Востоке России [3–8].

Основная цунамигенная зона Дальнего Востока России, в которой расположены очаги большинства цунами, совпадает с западным склоном Курило-Камчатского желоба. В окраинных морях Тихого океана, омывающих дальневосточные берега России, цунами возникают реже. Наиболее опасно в этом отношении Японское море. Цунамигенная зона Японского моря проходит вдоль восточного побережья Кореи, западного побережья Японии и юго-западного побережья острова Сахалин.

Следует обратить внимание, что цунами 15 ноября 2006 г. (M=7,9) и цунами 13 января 2007 г. (M=8,0), очаги которых находились восточнее средних Курил, вызвали заплески более 15 м на побережье необитаемого о. Симушир, но не нанесли серьезного ущерба населенным пунктам северных и южных Курильских островов, в отличие от цунами 4 ноября 1952 г. (очаг восточнее полуострова Камчатка), а также цунами 6 ноября 1958 г., и 4 октября1994 г. (очаги юго-восточнее Курильских островов).

Следует также отметить, что эпицентр цунамигенного землетрясения 16 июня 1964 года, с магнитудой M=7,5, не вызвавшего опасное (с заплеском, превышающим 1 м) цунами на побережье Дальнего Востока России, находится западнее острова Хонсю. Очаги же опасных цунами 5 сентября 1971 года и 2 августа 2007 года (высотой 2,05 и 3,2 м на западном побережье Сахалина, соответственно) с магнитудой M<7 находятся в южной части Татарского пролива.

Это говорит о том, что магнитудно-географический критерий цунамиопасности для Японского моря и акватории Тихого океана восточнее Курильских островов нуждается в пространственной детализации, то есть пороговая магнитуда должна меняться в зависимости от географических координат.

С целью пространственной детализации магнитудно-географического критерия цунамиопасности была выполнена серия вычислительных экспериментов, моделирующих цунами в Дальневосточном регионе. Модельные источники размещались в цунамигенной зоне Японского моря и в акватории Тихого океана восточнее Курильских островов. Для каждого модельного источника была выполнена серия вычислительных экспериментов (с разными модельными магнитудами) с целью определить пороговую магнитуду для каждого модельного очага. Под пороговой магнитудой здесь понимается магнитуда в модельном очаге цунамигенного землетрясения, при которой в одном из прибрежных населенных пунктов региона наблюдается интенсивное (с заплеском 1 м или более) цунами, потенциально представляющее угрозу для населенья Дальнего Востока России. Основные параметры модельных источников цунами и полученные в ходе вычислительных эксперимен-

тов пороговые магнитуды даны в таблице 1. Для всех модельных источников шаг магнитуд составлял 0,25. Высоты заплесков рассчитывались для 7 населенных пунктов Курильских островов и для 22 точек российского побережья Японского моря.

Таблица 1. Основные параметры и пороговые магнитуды модельных источников цунами

№	Широта, ° с. ш.	Долгота, ° в. д.	Глубина гипоцентра, км	Диапазон магнитуд	Пороговая магнитуда
1	49°38’6	156°45’1	35	7,0–8,0	7,5
2	46°56’1	152°57’2	35	7,0–8,0	7,75
3	45°17’3	150°46’5	35	7,0–8,0	7,5
4	44°19’7	148°35’9	35	7,0–8,0	7,5
5	43°16’9	147°10’7	35	7,0–8,0	7,5
6	49°18’	141°42’	10	6,0–7,5	6,75
7	46°22’	141°14’	10	6,0–7,5	6,75
8	44°30’	139°30’	25	6,5–8,0	7,25
9	43°00’	139°18'	25	6,5–8,0	7,25
10	40°00’	139°05’	25	6,5–8,0	7,75
11	37°30’	137°55’	25	6,5–8,0	7,75
12	35°50’	135°00’	25	6,5–8,0	7,75
13	35°00’	131°45’	25	6,5–8,0	7,75
14	38°00’	130°00’	25	6,5–8,0	7,5

Результаты выполненных авторами вычислительных экспериментов позволяют выделить в Японском море зону с повышенной до 7,5 пороговой магнитудой, ограниченную с севера и северо-запада линиями: 39° с. ш., 139°50’ в. д., 39° с. ш., 136° в. д.; 39° с. ш., 136° в. д., м. Чанги (36°05’ с. ш., 129°33’ в. д.), а с юго-запада и востока – Корейским проливом и западным побережьем острова Хонсю.

Также результаты выполненных авторами вычислительных экспериментов позволяют выделить в Татарском проливе район с пониженной до 6,5 пороговой магнитудой, южная граница которого пройдет от мыса Крильон (45°54’, 142°05’) к точке на материковом берегу Татарского пролива с координатами (45°54’, 137°44’), а северная – через пролив Невельского от Погиби до Лазарева.

Данные эксперименты также подтверждают правильность ранее принятого решения подкомиссии по цунами КЧС по Сахалинской области о временном выделении зоны с повышенной до 7,5 пороговой магнитудой, имеющей вид параллелограмма с координатами вершин:

46º с. ш., 150º в. д.; 49º с. ш., 154º в. д.; 49º с. ш., 158º в. д.; 46º с. ш., 154º в. д. в акватории Тихого океана восточнее центральных Курильских островов.

Реализация данных предложений позволит повысить эффективность службы предупреждения о цунами, как за счет сокращения числа ложных тревог, так и за счет снижения риска фатального пропуска цунами.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Поплавский А. А.** Оперативный прогноз цунами на морских берегах Дальнего Востока России. / Поплавский А. А., Храмушин В. Н., Непоп К. И., Королев Ю. П.– Южно-Сахалинск, 1997. – 273 с.

2. **Поплавский А. А., Храмушин В. Н.** Методы оперативного прогноза цунами и штормовых наводнений: – Владивосток: Дальнаука, 2008. – 176 с.

3. **Заякин Ю. Я.** Цунами на Дальнем Востоке России. – Петропавловск-Камчатский: Камшат, 1996. – 88 с.

4. Каталог проявлений цунами на Российском побережье с 1952 г. / Южно-Сахалинский Центр Цунами (сеть гидрометеостанций). Сахалинское Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. [Электронный ресурс]
URL: http://sakhgu.ru/expert/Tsunami/Tsunami.html

5. Невельское землетрясение и цунами 2 августа 2007 года, о. Сахалин / Под ред. Левина Б. В., Тихонова И. Н. – М.: «Янус-К», 2009. – 204 с.

6. **Соловьев С. Л., Го Ч. Н.** Каталог цунами на западном побережье Тихого океана (173-1968). – М., Наука, 1974. – 309 с.

7. On-line Тихоокеанский цунами каталог, с 47г. до н.э. по сей день / Лаборатория цунами, Институт Вычислительной Математики и Математической Геофизики СО РАН.
URL: http://tsun.sscc.ru/tsulab/On_line_Cat_r.htm

8. National Geophysical Data Center / World Data Service (NGDC/WDS): Global Historical Tsunami Database. National Geophysical Data Center, NOAA. doi:10.7289/V5PN93H7 [Электронный ресурс] URL: http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml

УДК 551.465

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ АПВЕЛЛИНГОВ И ДАУНВЕЛЛИНГОВ НА ГИДРОФИЗИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ ИО РАН В ЧЕРНОМ МОРЕ

Зацепин А. Г.[1], Баранов В. И.[2], Куклев С. Б.[2], Мельников В. А.[1], Пиотух В. Б.[1], Подымов О. И.[2], Сильвестрова К. П.[1], Станичный С. В.[1,3]

[1] Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-63-92, zatsepin@ocean.ru
[2] Южное отделение, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 8(86141)2-80-69, 353467, Просторная, 1 г, Геленджик-7, Россия, kuklev@ecologpro.ru
[3] Морской гидрофизический Институт, 99011, Капитанская, 2, Севастополь, Россия, 8(978)852-67-39 sstanichny@mail.ru

Paper presents preliminary results of complex analysis of variability of vertical distributions of temperature and current velocity (measured by moored thermistor chains and bottom ADCP stations at the Black Sea shelf near Gelendzhik) along with the data on wind velocity (obtained from the local weather stations and reanalyzed databases), ship-borne CTD transects and satellite information.

В 2013 гг. на шельфе и континентальном склоне Черного моря в районе г. Геленджика был развернут постоянно действующий гидрофизический полигон, предназначенный для исследования и мониторинга состояния водной среды. Размещение на полигоне автономных измерительных систем в составе донных станций с акустическими допплеровскими профилографами скорости течения (ADCP), термокос на заякоренных буйковых станциях и автоматических зондов-профилографов «Аквалог» обеспечивает регулярное получение вертикальных профилей гидрофизических и, дополнительно, некоторых гидрохимических характеристик с высоким вертикальным и временным разрешением. Одной из научных задач использования данных измерений, получаемых на полигоне, является их совместный анализ с метеорологическими данными и спутниковой информацией с целью исследования прибрежных

апвеллингов и даунвеллингов и их зависимости от ветрового воздействия и изменчивости течений.

Выполнен совокупный анализ данных изменчивости профилей температуры, скорости течения (по данным ADCP и термокосы, установленных на глубине 22 м на траверзе Голубой бухты и имеющих кабельную связью с берегом) и скорости ветра (по данным автоматической метеостанции на пирсе ЮО ИО РАН) в период с мая-июня по октябрь в 2013 и 2014 гг., а также данных перпендикулярных берегу судовых CTD-разрезов и спутниковой информации. Установлено, что полный апвеллинг, характеризующийся выходом термоклина на поверхность, является редким явлением, наблюдающимся в мае–июне и сентябре–октябре. В июле и августе, при наиболее развитом термоклине, его выход на поверхность не наблюдался. События неполного апвеллинга повторяются с частотой один раз в 5–15 суток и сопровождаются подъемом термоклина на 5–10 м. Эти события часто согласуются с вдольбереговым течением юго-восточного направления, а при северо-западном вдольбереговом течении наблюдается даунвеллинг. Взаимосвязь неполных апвеллингов со скоростью и направлением ветра не является однозначной.

Подробно проанализирован случай полного апвеллинга (рис. 1), наблюдавшегося в 3-й декаде сентября 2013 г. при воздействии достаточно сильного (6–10 м/с) и продолжительного (более суток) ветра северо-западного направления. При изменении направления ветра с северо-западного на еще более сильный ветер юго-восточного направления полный апвеллинг достаточно быстро (менее чем за сутки) сменился развитым даунвеллингом. Путем теоретического анализа предложен простой критерий развития полного ветрового апвеллинга, который хорошо соответствует данным наблюдения [2].

Несмотря на не вполне достаточную статистику наблюдений, можно сделать предварительный вывод о том, что редкие события полного апвеллинга (1-3 за теплый период года), как правило, обусловлены достаточно сильным и продолжительным воздействием ветра северо-западных румбов, тогда как значительно более частые события неполного апвеллинга вызваны вдольбереговыми течениями юго-восточного направления и не имеют четкой взаимосвязи с ветром. Такие течения наблюдаются у берега при прохождении через точку наблюдения мезо- и субмасштабных антициклонических вихрей.

В связи с тем, что большую часть времени термоклин находится на глубине, превышающей 20 м, принято решение в июне 2015 г. установить дополнительную термокосу на глубине места порядка 30 м с опто-

волоконной кабельной связью с берегом. Это даст возможность провести в следующем году статистически более достоверные наблюдения процессов прибрежного апвеллинга и даунвеллинга.

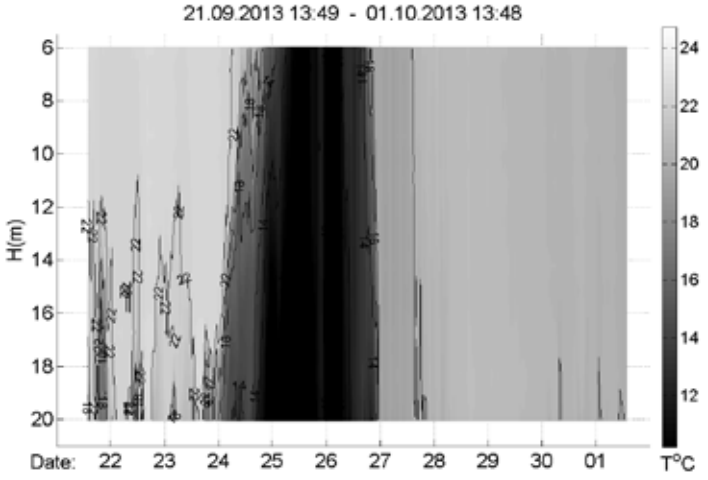


Рис. 1. Представление данных термокосы: событие полного апвеллинга в период 25–27 сентября 2013 г. (вертикальные распределения температуры во временной развертке, яркость – маркер температуры)

Работа выполнялась при финансовой поддержке Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество», договор №10/2013/РГО-РФФИ в части обработки и анализа данных, Соглашения № 14.604.21.0044 с Минобрнауки РФ в части организации системы измерений, а также гранта РФФИ №14-05-00159 в части подготовки данной публикации.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **А.Г. Зацепин, А.Г. Островский, В.В. Кременецкий, С.С. Низов, В.Б. Пиотух, В.А. Соловьев, Д.А. Швоев, А.Л. Цибульский, С.Б. Куклев, О.Н Куклева, Л.В. Москаленко, О.И. Подымов, В.И. Баранов, А.А. Кондрашов, А.О. Корж, А.А. Кубряков, Д.М. Соловьев, С.В. Станичный.** Подспутниковый полигон для изучения гидрофизических процессов в шельфово-склоновой зоне Черного моря. // ФАО. – 2014. – №1. – С.16-29.

2. **Зацепин А.Г., Куклев С.Б., Пиотух В.Б., Подымов О.И., Сильвестрова К.П.** Наблюдение цикла интенсивного апвеллинга и даунвеллинга на гидрофизическом полигоне ИОРАН в Черном море // Океанология. – 2015. – Т.55. (в печати).

УДК 551.46(06)

МОДЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕЧЕНИЙ У ВХОДНЫХ МОЛОВ БАЛТИЙСКОГО ПРОЛИВА[1]

Соколов А.Н.[1,2], Бабаков А.Н.[1], Чубаренко Б.В.[1]

[1] Атлантическое отделение Института океанологии им П.П. Ширшова РАН, 236022, г. Калининград, пр. Мира, 1, tengritag@gmail.com, babakov_temp@mail.ru, chuboris@mail.ru

[2] Балтийский федеральный университет им. И. Канта, 236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14

Numerical simulations of currents near the outer heads of breakwaters bounding the entrance to the Vistula Lagoon showed that numerical solution is much close to reality when the water exchange between the lagoon and marine area is considered.

Введение. Пролив, пересекающий Вислинскую косу и связывающий Вислинский залив с Балтийским морем, именующийся в научной литературе как Балтийский пролив [1], является входными воротами в Калининградский морской канал и порт Калининград. С целью изучения особенностей течений в районе оконечностей входных молов лабораторией прибрежных систем АО ИО РАН проводились натурные исследования придонных течений [2] (рис. 1) и апробация параметризации водообмена с Вислинским заливом в рамках численного моделирования.

Метод. Известно [3], что скорости течений, обусловленные локальным ветром, в Балтийском море обычно на порядок превышают скорости течений, обусловленных другими факторами. В работах [4, 5] рассматривается методика расчета осредненных по глубине ветроволновых течений в прибрежной зоне (программный комплекс MIKE DHI Software [6]). Ее применение для открытых участков побережья

[1] Работа частично поддержана за счет гранта РНФ 14-17-00547.

Калининградской области дало удовлетворительное совпадение расчетных и натурных скоростей.

Расчетная область (300´ 300 км) покрывала часть центральной Балтики от берега до берега, таким образом, чтобы открытые границы были максимально удалены от интересующего района Юго-Восточной Балтики. Расчет велся по методу конечных объемов на нерегулярной сетке, размер ячеек составлял 5–7 км для открытой части Балтийского моря и 100–150 м в областях, представлявших наибольший интерес для исследования. Рассчитывались осредненные по глубине скорости течений под действием только ветра. Скорость и направление ветра предполагались одинаковыми в пределах всей расчетной области, использовались данные о ветре с метеостанции в Балтийске.

Влияние канала на формирование локальных течений оценивалось сравнением результатов двух серий расчетов: (а) без учета водообмена через канал; (б) с учетом водообмена.

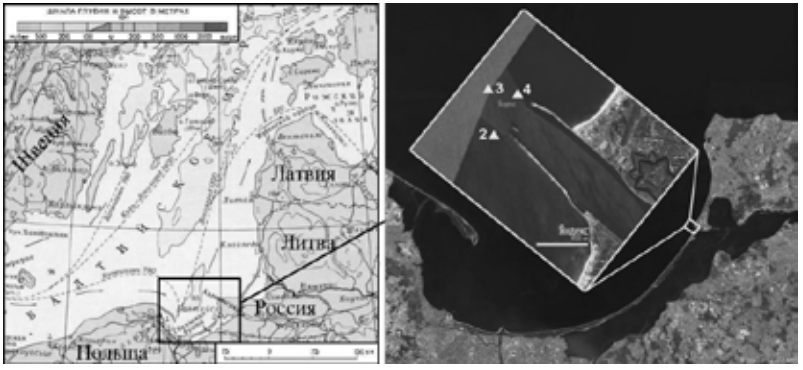


Рис. 1. Измерительный полигон 2003–2004 гг. в районе оконечности входных молов Балтийского пролива. Треугольниками с номерами обозначены места расположения донных пирамид (станций)

Результаты и их обсуждение

Сравнение результатов моделирования с натурными данными, зафиксированными регистратором станции 4, показано на рис. 2. Обращает на себя внимание пульсационный характер натурных течений с периодами от 1–2 до нескольких часов и амплитудой от 10 до 30–40 см/с. Расчет, выполненный без учета влияния канала, очевидно, не дает подобных результатов. При включении в расчет возможного влияния водообмена через канал между Вислинским заливом и Балтийским морем

(путем параметризации в зависимости от колебаний уровня моря) наблюдался как рост абсолютных величин скоростей, так и появление пульсаций подобных натурным.

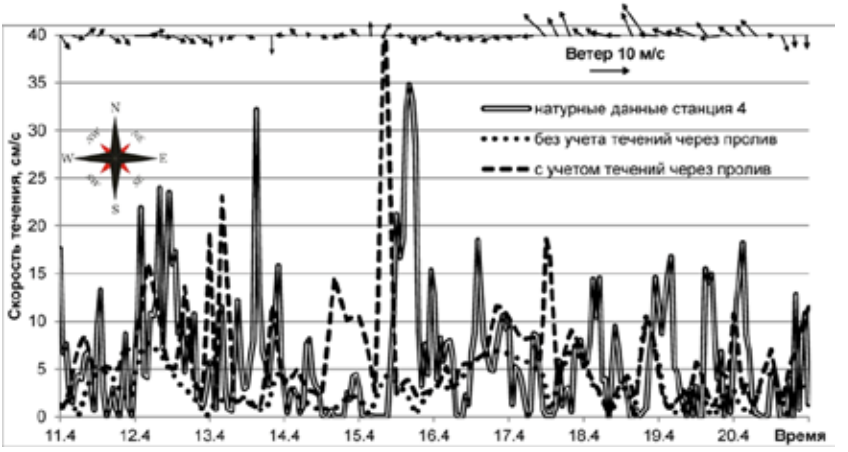


Рис. 2. Течения на станции 4 по натурным данным и результатам численного моделирования за период 11–20 апреля 2003 г. (ветер указан на верхней границе рисунка)

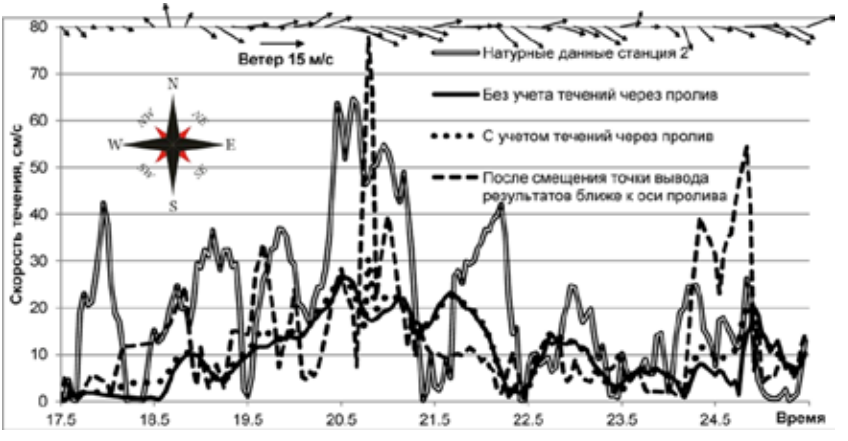


Рис. 3. Течения на станции 2 по натурным данным и результатам численного моделирования за период 17–24 мая 2003 г. (ветер указан на верхней границе рисунка)

Хотя качественно картина течений и стала похожа на ту, что наблюдалась в реальности, непосредственная корреляция между натурными данными и результатами расчета практически отсутствовала.

Сравнение натурных данных с результатами моделирования для станции 2 показаны на рис. 3. Здесь же показаны результаты моделирования при смещении точки вывода модельных результатов ближе к оси пролива. Можно отметить следующее: (а) учет течений через пролив не привел к более реальному воспроизведению временной изменчивости величины придонной скорости, как это было для станции 4; (б) только смещение положения точки вывода модельных результатов ближе к оси пролива вызвало абсолютное увеличение скоростей и появление временных пульсаций; (в) корреляция с натурными данными оставалась по прежнему слабой.

Выводы

Учет влияния водообмена через Балтийский пролив положительно сказывается на результатах моделирования течений в прилегающих к проливу областях, однако, использованная параметризация не позволила достичь удовлетворительного количественного совпадения с измеренными данными.

Поскольку средствами численного моделирования изучаются течения в непосредственной близости от препятствий (входные молы), на точность воспроизведения измеренных результатов очень сильно влияет погрешность в определении точки расчетной сетки, соответствующей месту расположения измерительного прибора.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гидрометеорологический режим Вислинского залива / Под ред. Лазаренко Н.Н., Маевский А.Л. М.: Гидрометеоиздат, 1971. – 279 с.

2. **Бабаков А.Н.** Придонные течения вблизи входных молов порта Балтийск по данным натурных полигонных измерений // Динамика прибрежной зоны бесприливных морей / Балтийск, Школа-семинар, 30.06-05.07.08 г. Калининград: Терра Балтика, 2008. – С. 31–35.

3. **Matti Leppäranta, Kai Myrberg.** Physical Oceanography of the Baltic Sea. – Springer Praxis, 2009. – 378 p.

4. **Sokolov A., Chubarenko B.** Wind influence on the nearshore currents formation in the South Baltic: numerical modeling results. // Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics. Vol. 59 (2012). No. 1. 2012. PP. 3–14.

5. **Соколов А.Н., Чубаренко Б.В.** Анализ возможного влияния климатических измененений на параметры ветрового волнения в прибрежной зоне Юго-Восточной Балтики. // Известия КГТУ, 2014. № 34. С. 43–52.

6. MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODEL FM. Hydrodynamic and Transport Module. Scientific Documentation. – DHI Software, 2005. – 42 p.

УДК 551.465

ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТЕЧЕНИЙ, КОЛЕБАНИЙ СЕРОВОДОРОДНОЙ ГРАНИЦЫ И СУТОЧНЫХ МИГРАЦИЙ ЗООПЛАНКТОНА В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ НА БАЗЕ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОНОМНОГО ЗОНДА-ПРОФИЛОГРАФА «АКВАЛОГ»

Подымов О. И.[1], Арашкевич Е. Г.[2], Зацепин А. Г.[2], Островский А. Г.[2], Соловьев В. А.[2] и Куклев С. Б.[1]

[1] Южное отделение института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Просторная, 1 г, 353467, г. Геленджик, 8(86141)2-80-69, huravela@yahoo.com

[2] Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-63-92, zatsepin@ocean.ru

The paper presents some analysis of the data of horizontal current velocities, acoustic backscatter signal and CTD, acquired in 2012-2014 with the moored mobile automatic profiler “Aqualog” in the north-eastern part of the Black Sea, 5 nm from the coast.

В докладе представлены данные по сезонной и межгодовой изменчивости горизонтальных течений, обратного акустического рассеивания, температуры, солености и плотности, полученных в 2012–2014 гг. при помощи автономного заякоренного зонда-профилографа «Аквалог» [1]. Профилограф предназначен для того, чтобы нести нагрузку из современного океанографического оборудования. Перемещаясь вверх и вниз тросу, он работает как лифт, обеспечивая одновременную работу таких датчиков как CTD-зонд, допплеровский акустический измеритель течений и опционально – кислородный датчик, флюориметр и турбиди-

метр. Заякоренный трос, на который крепится Аквалог, сделан из нержавеющей стали и покрыт ПВХ, позволяя продлить время автономной работы до нескольких месяцев. Программируемое аппаратное обеспечение зонда-профилографа дает возможность настроить нужный алгоритм для автоматической работы (переменная скорость движения, время и период выполнения профилей и т. д.)

Осенью 2012 г. зонд-профилограф «Аквалог» был установлен в северо-восточной части Черного моря, возле Геленджика, в пяти милях от побережья на глубине порядка 250 м для долговременного мониторинга течений и термохалинной стратификации [2]. После установки «Аквалог» собирал данные на протяжении почти двух лет, с перерывами от нескольких дней до месяца для технического обслуживания. В среднем ежедневно измерялось 4 профиля, с глубины от 220 м до 15–30 м. В сумме было получено более 1200 вертикальных профилей с горизонтальными скоростями течений, обратным акустическим рассеиванием и сопутствующими CTD-данными.

Анализ этих уникальных данных показал колебания перманентного пикно-галоклина с амплитудой до 40–50 м и характерным периодом в 5–15 дней. Одним из результатов этих колебаний явилась значительная изменчивость толщины кислородсодержащего слоя и позиции редокс-интерфейса, которые обычно сложно оценить на базе эпизодических корабельных измерений.

Было обнаружено, что течения в точке установки «Аквалога» направлены в основном вдоль берега (вдольбереговая компонента примерно на порядок превышает поперекбереговую). При этом северо-западное вдольбереговое течение всегда приводит к заглублению изопикн, в то время как юго-восточное всегда ведет к их подъему (рис. 1).

Из многочисленных исследований известно [3, 4], что положение сероводородной границы в Черном море мало меняется в поле плотности, и выклинивание сероводорода обычно наблюдается в районе изопикны 16.2. Было обнаружено, что изменчивость положения последней может превышать 50 м в течение нескольких дней (рис. 1). Подобные флуктуации наблюдались в основном во время холодного сезона, когда основной пикноклин был слаб или отсутствовал.

Также было обнаружено, что сигнал обратного акустического рассеивания может быть использован для изучения вертикального распределения зоопланктона. В районе установки «Аквалога» был проведен лов зоопланктона сетью с определенных слоев, для получения его таксономических и количественных характеристик. Также параллельно проводилось CTD-зондирование и отбор проб на кислород и хлоро-

филл-а. На рис. 2 показан тонкомасштабный эксперимент с «Аквалогом», когда вертикальный профиль измерялся каждый час. Был обнаружен тонкий слой (5–7 м), где наблюдался сильный сигнал обратного акустического рассеивания, расположенный в районе изопикны 15.9. При этом полученная структура тонкомасштабной стратификации сигнала обратного акустического рассеивания отражала распределение зоопланктона in situ, отобранное при помощи планктонной сети. Над изопикной s_q=15.7 слой скопления наблюдался только в дневное время, и за два часа до наступления темноты он начинал мигрировать вверх; ночью он концентрировался на глубине 20 м и мигрировал вниз за два часа до рассвета.

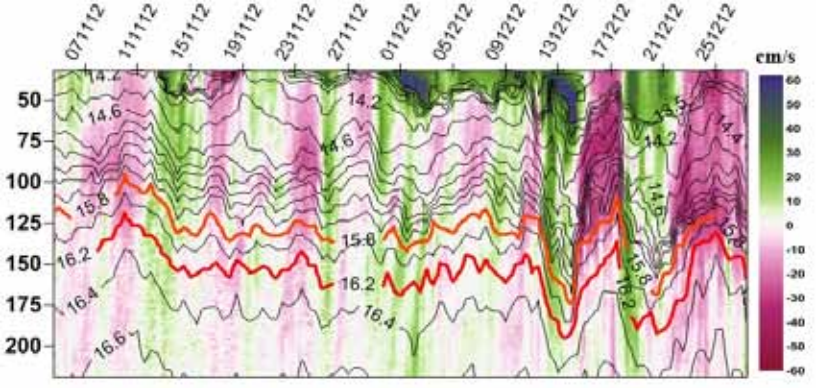


Рис. 1. Пример корреляции вдольберегового течения (выделено цветом; положительные значения – северо-западное направление, отрицательные – юго-восточное) и изопикн (изолинии): колебания границы кислородного слоя (s_q=15.8) и горизонта выклинивания сероводорода (s_q=16.2) в поле глубины на исследуемом полигоне в декабре 2012 г.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество», договор №10/2013/РГО-РФФИ, Соглашения № 14.604.21.0044 с Минобрнауки РФ, Программы 23 РАН, проекта РНФ 14-17-00382, а также грантов РФФИ №№14-05-00159, 14-05-00792.

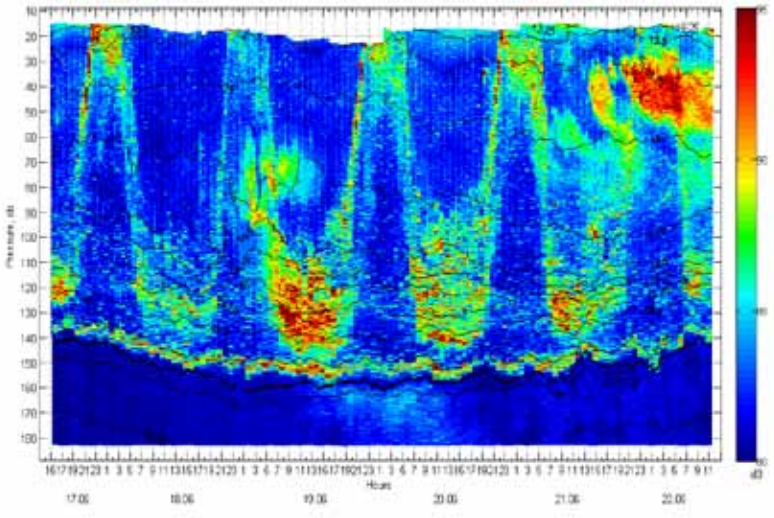


Рис. 2. Сигнал обратного акустического рассеивания, отражающий суточную миграцию зоопланктона

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Ostrovskii, A. G.** Short-term hydrophysical and biological variability over the north-eastern Black Sea continental slope as inferred from multiparametric tethered profiler surveys / A. G. Ostrovskii, A. G. Zatsepin // Ocean Dynamics. 2011. V.61. P.797–806.

2. **Зацепин, А. Г.** Подспутниковый полигон для изучения гидрофизических процессов в шельфово-склоновой зоне Черного моря / А. Г. Зацепин, А. Г. Островский, В. В. Кременецкий, С. С. Низов, В. Б. Пиотух, В. А. Соловьев, Д. А. Швоев, А. Л. Цибульский, С. Б. Куклев, О. Н. Куклева, Л. В. Москаленко, О. И. Подымов, В. И. Баранов, А. А. Кондрашов, А. О. Корж, А. А. Кубряков, Д. М. Соловьев, С. В. Станичный // ФАО. – 2014. – №1. – С.16–29.

3. **Виноградов, М. В.** Влияние изменений плотности воды на распределение физических, химических и биологических характеристик экосистемы пелагиали Черного моря / М. В. Виноградов, Ю. Р. Налбандов // Oceanology 30(5):769–777.

4. **Розанов, А. Г.** Окислительно-восстановительная стратификация воды Черного моря / А. Г. Розанов // Океанология. – 2011. – № 35 (4). – С.544–549.

УДК 551.468.1

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОД ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯВ ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Лобчук О. И.

Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, пр. Мира, 1, 23602 г. Калининград, 8(911)461-20-44, olga_may87@mail.ru,

On the basis of field measurement data obtained at the end of April – early May 2006 in expeditions of Russian and German research vessels in the northern and southern parts of the Baltic proper, the south-north (along the major axis of the sea) variability of the upper and lower boundaries of the cold intermediate layer (CIL) is analyzed. The boundaries were defined as a levels of highest vertical gradients of water temperature at CTD profiles: thermocline for upper bound and anti-thermocline, located close to permanent pycno/halocline – for lower bound. Mean depth of the location of the upper CIL boundary (thermocline) was found to be 25 m ± 3 m (with variations from 11 m to 41 m), of the lower boundary – 60 m ± 8 m (variations from 36 m to 71 m). Average thickness of the CIL amounted to 35.5 m ± 4.6 m (from 22 m to 57 m). The most remarkable feature of the CIL is highest variability of the depths of the boundaries from station to station (which could be more than 30 m per 70-80 km) rather than from south to north. No obvious south-north trend is detected. This speaks in favor of the independence of processes of the CIL formation at every particular location – as opposed to the idea of existence of general sea-scale transport of cold intermediate waters from some common source.

Холодный промежуточный слой Балтийского моря начинает отчётливо проявляться в вертикальной структуре вод после формирования сезонного термоклина – с конца апреля–начала мая. Именно этот начальный период существования ХПС интересен для анализа ещё и потому, что свойства его вод со времени начала его формирования (в марте–апреле) ещё не столь значительно изменены текущими гидрофизическими процессами, и есть вероятность получить информацию именно об особенностях процесса его формирования [2, 3].

В целом, Балтийское море имеет значительные градиенты солёности и температуры воды между крайними юго-западными и северо-восточными акваториями, обусловленные как эстуарийным характером общей циркуляции, так и разными внешними гидрометеорологическими условиями из-за большой протяжённости моря с юга на север [1]. Поэтому изменчивость вдоль главной оси моря характеристик ХПС, тесно связанного с параметрами локальной термохалинной структуры, совсем не очевидна и представляет богатый источник информации о проходящих процессах.

Метеобстановку собственно в период измерений – в конце апреля / начале мая 2006 г. – охарактеризуем по данным измерений метеопоста Висбю, расположенного на острове Готланд в центральной части моря [4].

Температура воздуха в целом за период измерений менялась в широком диапазоне – от –1.1 °C до 20.4 °C, но по характеру этих изменений можно разделить весь период на два этапа : если до 3 мая рост температуры воздуха был незначительным и крайне неравномерным, то с 4 мая он чётко следовал суточному циклу, с регулярным дневным прогревом до 19–20 °C и падением температуры до 5–6 °C ночью. Ветер, слабый и умеренный в этот период, имел переменное направление, в основном преобладали ветра от юга и юго-востока. Наиболее существенным по ветровому воздействию можно считать лишь эпизод 29 апреля – 2 мая, когда ветер восточного – юго-восточного направления со скоростями 4-7 м/с (до 8 м/с) был достаточно устойчив. 26 апреля 2006 г. отмечен кратковременный северный шквал, скорость ветра в котором достигала 12 м/с [4]. Таким образом, метеоусловия в целом соответствовали сезону, в результате чего развивался весенний прогрев вод поверхностного слоя и формирование сезонного термоклина.

В результате анализа экспедиционных данных было показано, что толщина ХПС в Борнхольмском бассейне составляет порядка 25 м, в Готландском бассейне и Ботническом море – около 40 м, в Ботническом заливе – около 30 м; площади верхней и нижней его границ составляют порядка 280 тыс. км^2 и 150 тыс. км^2, соответственно, а занимаемый объём в начале лета оценивается в 4.7–8 тыс. км^3, что составляет по крайней мере 1/4–1/3 объёма моря.

Так же вычисленная мощность холодного промежуточного слоя, на основании экспедиционных данных, располагавшегося на глубинных от 11–36 м на верхней границе до 49–71 м на нижней границе, составила 35±5 м. Очень важно отметить, что глубина залегания верхней и нижней границы меняется от станции к станции очень интенсивно, и явного тренда в их изменениях не обнаруживается. Это говорит в пользу независимо-

сти процессов формирования ХПС в каждом конкретном месте – в противовес гипотезе о существовании единого транспорта холодных промежуточных вод в масштабах всего моря из некоего единого источника.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-05-01041а.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Козлова О. И.** Характеристики холодного промежуточного слоя в центральной части Балтийского моря после зим различной суровости. – М.: Исследовано в России. 2010. – С. 149–158.
http:/zhurnal.gpi.ru/articles/2010/010.pdf

2. **Козлова О. И**. О возможности вклада адвекции в формирование ХПС Балтийского моря. – Вестник БФУ им. И. Канта, 2012. – №7. – С.156–162.

3. **Степанова Н. Б.,Чубаренко И. П.** Сравнительный анализ характеристик прибрежных вод в ранневесенний период и вод холодного промежуточного слоя в Юго-Восточной Балтике. Физические проблемы экологии (экологическая физика) //Сб. научн. трудов. Под ред. В. И. Трухина, Ю. А. Пирогова, К. Н. Показеева. М.: МАКС Пресс, 2011. Том 18. С. 280–290.

4. www.rp5.ru

УДК 532.59

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АЗОВСКОМ МОРЕ

Черкесов Л. В., Шульга Т. Я.

Морской гидрофизический институт, ул. Капитанская, 2, 299011, г. Севастополь, 8(8692)54-52-41, shulgaty@mail.ru

In work the free and forced wave motion in the Sea of Azov are studied. Importance of the results received thus for the solution of practical tasks is shown and degree of their coherence with data of natural supervision is estimated.

Азовское море относится к числу наиболее изученных бассейнов. Здесь имеется сеть морских береговых станций и постов, проводятся стандартные специализированные экспедиционные исследования. При

этом комплексных работ, результаты которых дают обоснованное представление о динамике вод при различных синоптических условиях, очень мало. Исследования научного и прикладного характера требуют применения современных трехмерных численных моделей. Они позволяют учитывать реальные атмосферные воздействия, рельеф дна, конфигурацию береговой линии.

Численные исследования течений и возмущений уровня Азовского моря, вызванных действием различных полей ветра основаны на серии вычислительных экспериментов с использованием нелинейной трехмерной сигма-координатной модели POM (Princeton Ocean Model) [1], адаптированной к условиям бассейна Азовского моря [2]. Численная модель опирается на полные уравнения движения и уравнение неразрывности использованием приближений Буссинеска и гидростатики [3]. Выбор шагов интегрирования по временным и пространственным координатам осуществляется в соответствии с критерием устойчивости для баротропных волн. Топография дна на модельную сетку интерполирована с использованием массива глубин, приведенного в навигационных картах.

На основе указанной выше модели изучены особенности ветровых течений, сгонно-нагонных процессов для стационарного ветра, барических образований, и нестационарных полей ветра атмосферной модели Skiron. Выполнено сравнение результатов проведенных численных расчетов с данными натурных наблюдений [4]. Изучены пространственные особенности сейшеобразных колебаний в Азовском море, расположение узловых линий и скорости возникающих при этом течений.

В вычислительных экспериментах воспроизводятся сценарии ветровых ситуаций над Азовским морем, порождаемые прогностическими и модельными полями ветра, а также результатом их взаимодействия. Скорости и направления ветра приняты на основе анализа многолетних метеорологических наблюдений и соответствуют преобладающим в районе Азовского моря синоптическим ситуациям [5]. Поля постоянного ветра и перемещающихся барических образований заданных скоростей, радиусов оснований и перепадом давления между центром и периферией задаются аналитически. Прогностические поля ветра получены по данным атмосферной модели Skiron и интерполированы на расчетную сетку области моделирования.

На рис. 1 приведены поля скоростей стационарных течений в поверхностном слое моря в моменты времени, соответствующие различным направлениям постоянного ветра. Генеральная циркуляция вод, вызванная действием ветров зональных направлений, характеризуется

циклоническим движением. На удалении 20–35 км от берега прослеживается ядро наибольших скоростей (стрежень потока), достигающих в поверхностном слое моря 60–80 см/с.

Из анализа поведения представленных на рис. 2 изолиний уровня следует, что при ветре 15 м/с трех направлений в каждом случае имеет место одна узловая линия в центральном районе моря, ориентированная перпендикулярно направлению действующего ветра.

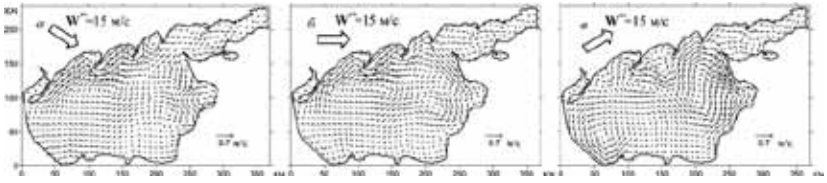


Рис. 1. Поля стационарных течений (м) Азовского моря, вызываемых действием постоянных ветров со скоростью 15 м/с:
а – северо-западного; *б* – западного; *в* – юго-западного

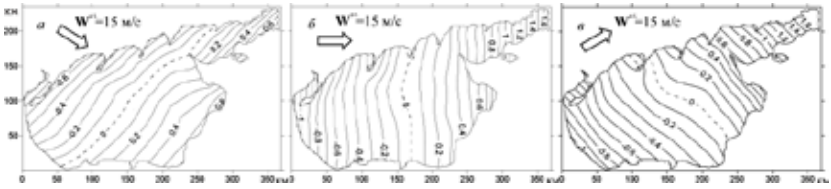


Рис. 2. Изолинии уровня (м) Азовского моря при действии постоянных ветров со скоростью 15 м/с:
а – северо-западного; *б* – западного; *в* – юго-западного

Анализ результатов численных расчетов позволил сделать выводы о влиянии направления и скорости движущихся циклонов над Азовским морем на максимальные скорости генерируемых ими течений. Моделирование динамических процессов выполнено для циклонических атмосферных образований, перемещающихся над акваторией моря, где ранее сформированы стационарные течения, вызванные постоянным ветром различных скоростей и направлений. Исследовано влияние скоростей стационарных течений на максимальные скорости нестационарных течений, вызванные прохождением циклонов.

Сделаны выводы о влиянии величин скоростей стационарных течений на максимальные отклонения уровня и скорости нестационарных

течений, генерируемых полями ветра, полученными по атмосферной модели Skiron. Выполнен анализ влияния изменения интенсивности стационарных течений на размеры областей осушения и затопления в прибрежных районах моря в зависимости от угла наклона (подъема) рельефа береговой зоны. Величины сгонов и нагонов, рассчитанные в результате моделирования с использованием ветра, полученного по данным атмосферной модели Skiron, сравнивались с натурными измерениями за тот же период, приведенными в таблицах ежечасных значений высот уровня моря государственной метеорологической службой. Выполненный анализ подтверждает достаточно хорошее совпадение величин амплитуд колебаний уровня, полученных путем численных расчетов и по натурным данным.

Изменение ветра или атмосферного давления над Азовским морем приводит к возникновению и другого опасного природного явления – сейшеобразных колебаний. В работе, на основе применения нелинейной трехмерной гидродинамической модели анализируются физические закономерности свободных колебаний жидкости в Азовском море, возникающие после прекращения длительно действующего постоянного ветра. Получены пространственные характеристики сейшеобразных колебаний, расположение узловых линий и скорости возникающих при этом течений.

Численный анализ позволил установить, что максимальные величины амплитуд собственных колебаний в прибрежной зоне сопоставимы с размерами штормовых сгонов и нагонов. При этом высоты свободных колебаний уровня в открытой части моря составляют 50–89% высот колебаний вдоль береговой линии. В центральной части моря максимальные скорости течений при свободных колебаниях превысили на 21% скорости стационарных течений, вызванных штормовым ветром. Установлено, что сейши вносят существенный вклад в изменчивость скоростей течений. При этом свободные колебания уровня затухают быстрее амплитуд скоростей течений.

В результате выполненных в настоящей работе численных исследований получены характеристики пространственного распределения, оценены величины колебаний уровня и скоростей течений, вызванных различными полями ветра. Выполнен анализ особенностей свободных колебаний, возникающих в Азовском море после прекращения действия ветра. Показана важность полученных результатов для решения практических задач, оценена степень их согласованности с данными натурных наблюдений.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Blumberg, A. F.** A description of three dimensional coastal ocean circulation model in Three-Dimensional Coast Ocean Models / A. F. Blumberg, G. L. Mellor // Coast. Estuar. Sci. 1987. – 4. – P. 1–16.

2. **Фомин, В. В.** Численная модель циркуляции вод Азовского моря / В.В. Фомин // Научные труды УкрНИГМИ. – 2002. – Вып. 249. – С. 246–255.

3. **Черкесов, Л. В.** Введение в гидродинамику и теорию волн / Черкесов Л. В., Иванов В. А., Хартиев С. М. // СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 264 с.: ил. – Библиогр.: с. 263.

4. **Иванов, В. А.** Динамические процессы и их влияние на распространение и трансформацию загрязняющих веществ в ограниченных морских бассейнах / В. А. Иванов, Л. В. Черкесов, Т. Я. Шульга – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. – 178 с.: ил. – Библиогр.: с. 177.

5. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Том III. Азовское море. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 218 с.

УДК 551.462

МЕТОДИКА ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛН НА ОКЕАНОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

Душко В. Р., Кушнир В. М., Крамарь В. А.

Севастопольский государственный университет
ул. Университетская 33, 299053,г. Севастополь, 8(0692)435128,
kramarv@mail.ru

The problem of numerical simulation of the nonlinear waves effect on ocean engineering off-shore structure. The basic theoretical relations is given. Propose the technique of applying these results to further research the effect of nonlinear waves.

Проблема освоения энергетических ресурсов на шельфе Азово-черноморского к важнейшим условиям развития промышленного, сельскохозяйственного и коммунального комплексов государства. Основные и наиболее перспективные для добычи энергоносителей районы относятся к шельфовой зоне и характеризуются глубинами около не-

скольких десятков метров. К особенностям этих районов относятся нелинейные поверхностные волны, которые формируются при выходе на мелководье поверхностных волн большой высоты из глубоководных районов при штормовых условиях. Высоты таких волн в открытой части Черного моря могут достигать 10...12 м при длине более 100 м и периоде около 10 с. Эти волны переносят большую энергию, приблизительно 900 кВт на один метр волнового фронта. Значительная часть этой энергии преобразуется в энергию нелинейных поверхностных волн, которые могут воздействовать на океанотехнические установки на небольших глубинах. В настоящее время отсутствуют представления о характере таких воздействий на океанотехнические установки и это увеличивает риски их аварий при указанных условиях.

Основные уравнения нелинейной теории мелкой воды имеют вид [1, 2]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + g\frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \qquad \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left[(h+\eta)u\right] = 0, \tag{1}$$

где $u = 2\left(\sqrt{g(h+\eta)} - \sqrt{gh}\right)$ – горизонтальная скорость движения частиц воды, h – глубина, η – возвышение свободной поверхности, x – горизонтальная координата, t – время.

Систему уравнений (1) можно преобразовать к следующему виду:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V\frac{\partial V}{\partial x} = 0, \quad V = \sqrt{gh} + 1{,}5u = 3\sqrt{g(h+\eta)} - 2\sqrt{gh}. \tag{2}$$

Решение уравнения (2) – решение Римана – имеет следующий вид: $V(x,t) = V_0(x - Vt)$, где V – скорость перемещения нелинейной волны.

Рассмотрим случай, когда нелинейная волна формируется из линейной волны, набегающей на наклонное дно, т.е. $\eta_0(x) = a\sin kx$. Горизонтальная скорость движения волны задается следующим образом:

$$u(t=0) = \frac{\pi a}{T_w}\frac{\cosh ky}{\sinh kh}\cos kx, \tag{3}$$

$k = 2\pi/\lambda$ – волновое число, $\omega = 2\pi/T_w$ – круговая частота. Ось y направлена от поверхности дна вверх, ось x – в направлении распространения волны.

Давление в волне описывается соотношением:

$$p = \rho g a\frac{\cosh ky}{\cos kh}\cos(kx - \omega t) + \rho g(h - y), \tag{4}$$

ρ – плотность воды.

Расчет параметров волн на больших глубинах, в зоне открытого моря, может быть выполнен несколькими методами. Наиболее точные результаты дает использование численной модели SWAN, учитывающей неравномерность поля ветра и реальный рельеф дна [3]. Во многих случаях, когда важно учесть процессы разрушения волны из-за нелинейных эффектов или обрушения гребня, можно использовать более простые полуэмпирические методы. Так высота волны H, ее длина λ и период T_w определяется по соотношениям:

$$H = 0{,}073Wk\sqrt{\varepsilon D}, \quad \lambda = 0{,}073Wk\sqrt{D/\varepsilon}, \quad T_w = 0{,}8\sqrt{\lambda}, \qquad (5)$$

где $k = 1 + exp(-0{,}4D/W)$, $\varepsilon = 1{,}11(100 + W^2)^{-0{,}5}$, D – длина разгона, W – скорость ветра (м/с). Под разгоном ветра D понимается длина водного пространства, на котором ветер постоянного направления воздействует на поверхность моря.

Рассмотрим пример. Скорость ветра $W = 25$ м/с, разгон $D = 100$ км. При этом $\varepsilon = 0{,}0413$, $k = 1{,}2$, $H = 4{,}45$ м с обеспеченностью 5 % или 4,9 м с обеспеченностью 3 %, которую рекомендует использовать Регистр для инженерных расчетов, $\lambda = 107{,}8$ м, $T_w = 8{,}3$ с.

В Государственном океанографическом институте на основании спектральной статистической теории волнения были получены графические связи между элементами волн и скоростью ветра, продолжительностью его действия и длиной разгона. Эти зависимости следует считать наиболее надежными и дающими приемлемые результаты. Использование этих графических зависимостей дает близкие результаты для оценки параметров волн при рассмотренных условиях.

При изменении глубины происходит трансформация профиля волны, которая выражается в изменении ее крутизны. Фаза разрушения волны kx_*, критический уровень h_* и длина зоны обрушения x_b определяются соотношением амплитуды и глубины, т.е.:

$$kx_* = \arcsin\left[\frac{\sqrt{1-(a/h)^2}-1}{a/h}\right], \quad \frac{h_*}{h} = \sqrt{1-\left(\frac{\pi}{kh}\right)^2} - 1,$$
$$x_b = \frac{1}{3k}\sqrt{\frac{2}{1-\sqrt{1-(a/h)^2}}}. \qquad (6)$$

При распространении нелинейной волны по склону ее возвышение изменяется по соотношению:

$$h(x,t) = \frac{4h}{3kt\sqrt{gh}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} J_n\left(\frac{3nkta\sqrt{gh}}{2h}\right) \sin\left(nk\left(x - \sqrt{gh}t\right)\right), \qquad (7)$$

где $J_n(z)$ – функция Бесселя порядка n.

Таким образом, на левой границе расчетной области задается скорость волнового течения по соотношению (3), на дне и на правой границе ($h = 0$) задается $u = 0$ и на поверхности моря задается смещение свободной поверхности по соотношению (7). Профиль дна задается либо линейной функцией $h(x) = h_0 - \alpha x$, $0 \le x \le h_0/\alpha$, либо экспоненциальной зависимостью вида $h(x) = h_o \exp(-\alpha x)$, $0 \le \alpha x \le 3...5$.

Для моделирования соотношение (7) была разработана программа, в пакете MatLab. Исследовались следующие данные: скорость ветра W = 25 м/с, разгон D = 100 км. При этом $\varepsilon = 0{,}0413$, $k = 1{,}2$, начальная высота волны $H = 4{,}45$ м с обеспеченностью 5 % или 4,9 м с обеспеченностью 3 %, которую рекомендует использовать Регистр для инженерных расчетов, длина волны $\lambda = 107{,}8$ м, период волны T_w = 8,3 с. Начальная глубина начальная глубина h = 30 м. Дно меняется по экспоненциальному закону $h = h_0 \times e^{-\alpha x}$. Принимается α = –0,06 и $xkon = 40$.

Критическая глубина разрушения волны и соответствующее расстояние определяется по формулам

$$h_{cr} = 7{,}26 H_n^{1{,}715} \lambda_n^{-0{,}715}, \; x_{cr} = \ln(h_{cr}/30)/\alpha. \qquad (8)$$

Теоретические расчеты совпадают с результатами работы программного обеспечения: $h_{cr} = 3{,}4$ м, $x_{cr} = 36{,}4$ м.

Для применения соотношения (7) для расчетов, например, в пакете COSMOSFloWORKS его необходимо представить в виде

$$h(x,t) = a1\sin\omega t + a2\sin 2\omega t + a3\sin 3\omega t. \qquad (9)$$

Для этого необходимо представить функции Бесселя в виде рекуррентных соотношений для функций Бесселя [4].

На основе предлагаемой методики расчетов будут получены параметры волн для диапазона глубин, при помощи численных методов на основе прикладных пакетов. Дальнейшие расчеты параметров волн выполняются на основе эмпирических и полуэмпирических соотношений. Представляет интерес анализ полученных результатов при различных начальных данных.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Диденкулова И. И.** Крутизна и спектр нелинейно деформируемой волны на мелководье / И. И. Диденкулова, Н. Заибо, А. А. Куркин, Е. Н. Пелиновский // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2006. Т. 42. №6. – С. 839–842.

2. **Аббасов И.** Моделирование нелинейных волновых явлений на поверхности мелководья / И. Аббасов // М.: Физматлит, 2010. – 128с.

3. SWAN. Technical documentation. Delft University of Technology, Faculty of Civil Eng. and Geosciences, Environmental Fluid Mechanics Section. – 2006. – 88 p.

4. **Ватсон Г.** Теория бесселевых функций / Г. Ватсон // М.: ИЛ, 1949. – Т. 1, 2.

УДК 551.46:534.22

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ОКЕАНА

Бабий В. И.[1], Бабий М. В.[1], Родионов А. А.[2]

[1] Морской гидрофизический институт
ул. Капитанская 2, 299011, г. Севастополь
8(0692) 53-46-89, marbab@yandex.ru
[2] Санкт-Петербургский научный центр РАН (СПбНЦ РАН)
Университетская наб. 5, 199034, г. Санкт-Петербург
8(812) 328-26-12, sppp@spbrc.nw.ru

The generalized indicators of quality measurements of hydrophysical fields are proposed. They characterize their accuracy, spatial and time resolution comprehensibly. Examples of the calculation and comparison of these indicators are given.

Качество измерений – это очень емкое многоплановое понятие, включающее следующие свойства: единство измерений, точность, состоятельность (валидность), достоверность, надежность, эффективность, своевременность, информативность и многие другие [1]. Цель любых измерений – уменьшение априорной неопределенности. При этом уровень точности должен определяться критерием целесообразности и значимости результата измерений. Именно значимость результата

определяет совокупность требований, предъявляемых к качеству измерений. Особенность гидрофизических измерений это сам объект измерений – Мировой океан и случайные гидрофизические поля в нем.

Критерий качества измерений любого гидрофизического параметра X выражается определенной совокупностью показателей. Учитывая, что интенсивность мелкомасштабных флуктуаций гидрофизических полей резко уменьшается с ростом частоты и волнового числа, выберем в виде исходной информации следующий набор первичных метрологических характеристик гидрофизических средств измерений (ГФСИ):

– дисперсия s_x^2 (или СКО s_x) собственных инструментальных шумов в измеряемой полосе частот;

– эффективный масштаб l_0 пространственного осреднения гидрофизического поля датчиком в направлении траектории зондирования;

– эффективный масштаб t_0 временного осреднения поля измерительным каналом в единичном отсчете.

Все эти три метрологические характеристики изображены на рис. 1 по осям декартовой системы координат.

На основе объемного представления метрологических характеристик, для сравнения с другими ГФСИ введем три обобщенных показателя качества измерений случайных гидрофизических полей, имеющие простой и ясный физический смысл.

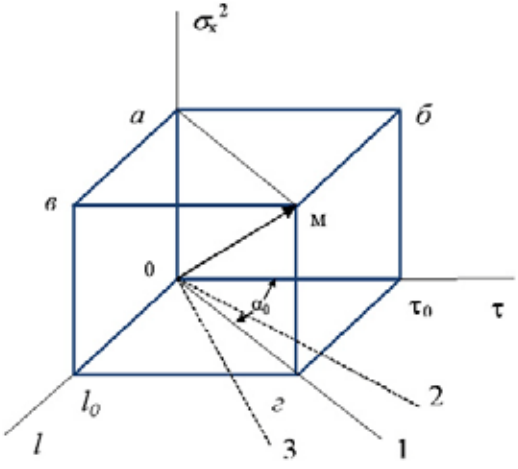


Рис. 1. Трехмерное геометрическое изображение основных метрологических показателей маломасштабных ГФСИ

1. Обобщенный показатель $W_x = \sigma_x^2 \cdot l_0 \cdot \tau_0$ является произведением трех вышеуказанных метрологических характеристик. Он равен объему прямоугольного параллелепипеда со сторонами σ_x^2, l_0, τ_0 и имеет соответствующую размерность. Физически это элемент пространственно-временного разрешения гидрофизического поля. Он означает, что вне этого виртуального объема пространственно-временная структура морской среды может быть корректно исследована данным ГФСИ с параметрами равными или превышающими исходные аргументы, тогда как исследование среды измерителем с этими же параметрами внутри объема параллелепипеда невозможно. Поэтому, чем меньше показатель W_x, тем эффективнее применение ГФСИ для измерений маломасштабных неоднородностей среды [2]. В частности, для гидроакустических измерителей скорости звука (ГИСЗ) размерность W_c [м^3/с] соответствует объемному расходу или объемной скорости звука. Для сравнения между собой ГФСИ, измеряющих прямо или косвенно различные гидрофизические величины X, введем нормированные дисперсии σ_x^2/x^2. В результате получим удобную для сравнения размерность длины-времени [м·с] показателя $W_x^* = (\sigma_x^2/x^2) \cdot l_0 \cdot \tau_0$, одинаковую для всех измеряемых гидрофизических полей, независимо от способа и метода их измерения. Возможно также сравнение ГФСИ по модулю вектора OM (рис. 1), но для этого надо представить его компоненты безразмерными, что не очень удобно.

2. Обобщенный показатель $V_0 = l_0 / \tau_0$ равен отношению масштабов пространственного и временного осреднения в единичном отсчете [3–6]. Это показатель динамических свойства любых ГФСИ, независящий от принципа действия и от вида измеряемой физической величины. Он имеет размерность скорости [м/с] и характеризует способность всех ГФСИ проводить корректные измерения маломасштабной структуры гидрофизических полей на ходу мобильного носителя. В современных ГФСИ весовые функции осреднения разделены, поскольку операции пространственного и временного осреднения выполняются в разных устройствах. Поэтому результирующую весовую функцию ГФСИ можно представить так: $H(\Delta r, t) = H(\Delta r) \cdot H(\tau)$. Тогда получим $V_0 = H(\Delta r)/H(\tau) = l_0 / \tau_0$. Показатель V_0 описывается углом α_0, где $\mathrm{tg}\alpha_0 = V_0$, (см. сплошную линию 1 на рис. 1). Минимальный регистрируемый масштаб неоднородности равен $l_{min} = l_0 + V_д \cdot \tau_0$, где $V_д$ – скорость движения датчика относительно среды. Следовательно, обобщенный показатель V_0 указывает предел скорости движения носителя, при которой выполняется условие корректности маломасштабных измерений. При $V_д < V_0$ имеем $l_{min} \approx l_0$ (штриховая линия 2 рис. 1), тогда как при $V_д = V_0$ имеем $l_{min} = 2l_0$. При

$V_д > V_0$ (штриховая линия 3 рис. 1) $l_{min} » V_д \cdot t_0$ (где приложима гипотеза «замороженного» поля [2]), а возможность корректно регистрировать маломасштабную структуру падает. Значит предпочтительно работать в диапазоне скоростей сканирования поля при условии $V_д < V_0$. Следовательно, маломасштабный ГФСИ должен обладать высоким значением показателя V_0. Чем больше V_0, тем эффективнее маломасштабный ГФСИ. Поэтому желательно увеличение показателя V_0, которое достигается преимущественно за счет уменьшения t_0, т.е. за счет повышения быстродействия.

3. Обобщенный показатель $S_0 = s_x^2 \cdot 2t_0$ есть спектральная плотность мощности высокочастотного участка спектра собственных инструментальных шумов ГФСИ в модели «белого» шума [3–5]. Физический смысл S_0 – это приведенная к входу ГФСИ энергия собственных шумов в единичном отсчете t_0. Для ГИСЗ размерность S_0 есть [м^2/с]. Легко связать W_x и S_0 выражением $W_x = 0{,}5 \cdot l_0 \cdot S_0$, где W_x и S_0 – инварианты. Это значит, что возможен обмен быстродействия на точность, т.е. уменьшение s_x^2 за счет увеличения t_0 при неизменных объеме W_x и S_0. Ввиду статистической независимости собственных высокочастотных шумов ГФСИ от измеряемого поля, возможно введение поправки S_0 путем ее вычитания из наблюдаемого спектра [4–8].

Показатель S_0 определяет отношение *сигнал/шум* и способность ГФСИ регистрировать аномалии гидрофизических полей в высокочастотной, и, следовательно, маломасштабной части спектра неоднородностей среды [7, 8]. Для сравнения с маломасштабными измерителями других гидрофизических величин, показатель S_0 надо нормировать на квадрат измеряемой величины: $Q_x^2 = S_0 / x^2$, где размерность этого параметра для всех ГФСИ есть время [с], а граничная частота спектра: $f_{гр}=0{,}5t_0$. Как видим, обобщенные показатели W_x и S_0 годятся для сравнения между собой измерителей одинаковых физических величин, а показатели W_x^*, Q_x^2 и V_0 – применимы для сравнения измерителей любых физических величин, независимо от типа и принципа действия. Эти показатели наилучшим образом характеризуют качество ГФСИ.

В основу количественной оценки эффективности маломасштабных ГФСИ положим принцип: «все познается в сравнении». Для примера выберем из известных лучших отечественных образцов ГИСЗ импульсный цифровой зонд МГ-543 ЭМ-05 (Съемка-ИСЗ). Из зарубежных образцов выберем две последние модели ГИСЗ фирмы Valeport, которая является мировым лидером в данной области измерений: буксируемый Profiler rapid SV и прецизионный зонд Ultra SV разработки марта 2014 г.

Эти ГИСЗ специально предназначены для маломасштабных измерений поля скорости звука на ходу носителя.

Поскольку геометрические размеры акустических баз ГИСЗ находятся в относительно узких пределах: длина 2,5¸ 10 см, то для простоты сравнения примем эффективный диаметр звукового луча одинаковым для всех ГИСЗ, положив его равным l_0 = 1см, когда достигается наибольшая пространственная разрешающая способность при измерениях в плоскослоистой среде. Это допущение отвечает реальности и оно принято при составлении таблицы 1. Следовательно, эффективность маломасштабных измерений посредством ГИСЗ формируется преимущественно двумя исходными параметрами: быстродействием t_0 и пороговой флуктуационной чувствительностью s_c. Именно эти два параметра (и минимизация либо их произведения, либо параметров S_0 или Q_c^2) определяют эффективность и способность к маломасштабным измерениям в морской среде с движущихся носителей и требуют особого внимания при разработке перспективных ГИСЗ.

Таблица 1. Показатели качества маломасштабных ГИСЗ

Тип ГИСЗ	t_0 с	s_c м/с	S_0, м^2/с	Q_c^2, с	W_c, м^3/с	W_c^*, м×	V_0, м/с
МГ-543 ЭМ-05	$1\cdot10^{-1}$	$2\cdot10^{-2}$	$8\cdot10^{-5}$	$3{,}5\cdot10^{-11}$	$4\cdot10^{-7}$	$2\cdot10^{-13}$	0,1
Profiler Rapid SV	$31\cdot10^{-3}$	$1\cdot10^{-3}$	$6\cdot10^{-8}$	$3\cdot10^{-14}$	$3\cdot10^{-10}$	$1\cdot10^{-16}$	0,3
Ultra SV	$33\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-3}$	$6{,}6\cdot10^{-9}$	$3\cdot10^{-15}$	$3{,}3\cdot10^{-11}$	$1{,}5\cdot10^{-17}$	3,0

В этой таблице ГИСЗ расположены в порядке увеличения эффективности маломасштабных измерений. Для сравнения с их обобщенными показателями традиционных гидрологических CTD-зондов, воспользуемся, как наиболее тесно связанными со скоростью звука, данными измерительного канала температуры прецизионного зонда SBE-19plus, где t_0 = 0,25 с , $s_т = 1\times10^{-4}$ К. В результате получим следующие оценки: $W_т^* = 3\times10^{-16}$ м× , $Q_т^2 = 6\times10^{-14}$ с , V_0 = 0,04 м/с. Отношение обобщенных показателей разных ГФСИ характеризует их эффективность по сравнению с СИ, выбранным в качестве опорного.

Как видим, по всем этим обобщенным показателям данный CTD-зонд фирмы SBE уступает ГИСЗ фирмы Valeport. Это еще раз свидетельствует о том, что прямые методы измерения скорости звука в морской среде предпочтительнее косвенных методов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Селиванов М. Н., Фридман А. Э., Кудряшова Ж. Ф.** Качество измерений: Метрологическая справочная книга. – Л.: Лениздат, 1987. – 295 с.

2. **Бабий В. И.** Мелкомасштабная структура поля скорости звука в океане. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 200 с.

3. **Бабий В. И., Бабий М. В.** Алгоритмический метод разделения сигнала и собственных шумов одноканального измерителя скорости звука // Украинский метрологический журнал, 2011. №2. – С. 40–45.

4. **Бабий В. И., Бабий М. В.** Корреляционный метод измерения скорости звука // Труды XI Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». СПб.: Наука, 2012. С. 413–416.

5. **Бабий В. И.** Проблемы и перспективы измерения скорости звука в океане. (Серия *Современные проблемы океанологии.* Вып. №7). Морской гидрофизический институт НАН Украины. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ – Гидрофизика», 2009. – 142 с.

6. **Бабий В. И.** Динамическая характеристика средств измерения гидрофизических полей // Международный научно-технический семинар «Морское и экологическое приборостроение». Сборник трудов. НАМИТ, НАНУ, МГИ. – Севастополь, 1994. – С. 94.

7. **Бабий В. И.** Специфика гидрофизических измерений в океане // Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XIII Международной научно-технической конференции «МСОИ–2013». – М.: АПР, 2013. – Т.1. – С. 152–155.

8. **Бабий В. И., Родионов А. А.** Спектральные отношения сигнал/шум в гидрофизике и гидроакустике // Труды XII Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». – СПб: Нестор-История, 2014. – С. 335–337.

УДК 551.466.8

ПРОЦЕССЫ ПЕРЕНОСА, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ СЛАБОНЕЛИНЕЙНЫМИ ВНУТРЕННИМИ ВОЛНАМИ

Слепышев А. А.

Морской гидрофизический институт, ул. Капитанская, 2, 299007, г. Севастополь, +79789296153, slep55@mail.ru

In a Bussinesque approximation free internal waves are considered at the account of turbulent viscosity in a shear flow. In linear approximation the dispersive relation, decrement of wave attenuation are found. In the second order on wave amplitude a speed of Stokes drift and vertical wave flux of salt are determined.

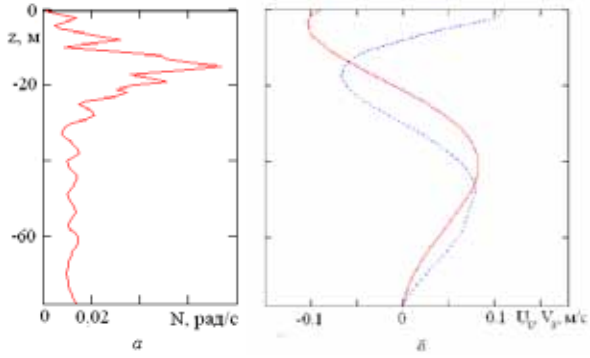
Внутренние волны повсеместно присутствуют в океане, т. к. постоянно присутствуют энергетические источники их порождающие: колебания атмосферного давления, сдвиговые течения, приливы, ветровые напряжения и т.д. Мелкомасштабные внутренние волны вносят вклад в вертикальный обмен, благодаря их обрушению создаются пятна турбулентности. Обычно вертикальный обмен связывается с мелкомасштабной турбулентностью, которая имеет в стратифицированной среде перемежаемый характер. Можно говорить об «эффективной» турбулентной вязкости.

Влияние турбулентной вязкости и диффузии на внутренние волны рассматривалось в ряде работ [1, 2]. Было показано, что внутренние волны затухают. Вертикальные волновые потоки тепла и соли при этом отличны от нуля [3], причём вертикальная составляющая скорости стоксова дрейфа также отлична от нуля.

Представляет интерес рассмотреть волновой тепломассоперенос при учёте турбулентной вязкости и диффузии в вертикально-неоднородном потоке.

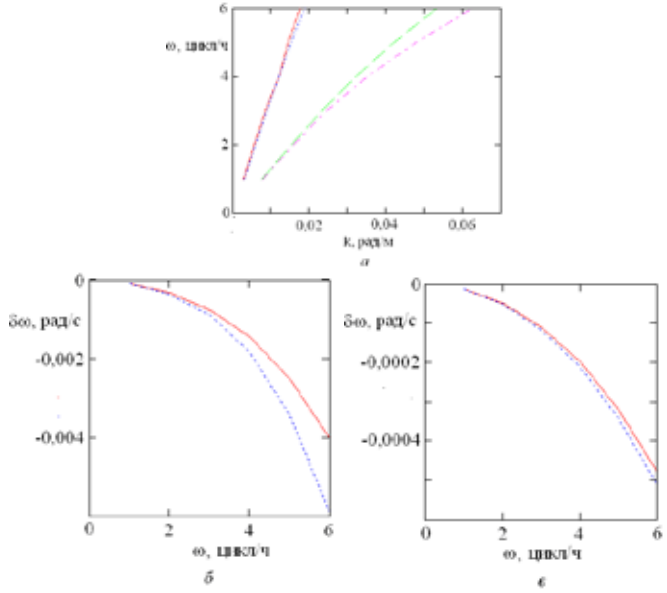
Итак, рассматриваются свободные внутренние волны в безграничном бассейне постоянной глубины при наличии течения с вертикальным сдвигом с учётом горизонтальной турбулентной вязкости и диффузии. В линейном приближении находится дисперсионное соотношение и декремент затухания волны. Во втором порядке по амплитуде волны определяются скорость стоксова дрейфа и вертикальные волновые потоки тепла и соли. Такие потоки существуют за счёт фазового сдвига колебаний вертикальной скорости и температуры (или солёности), отличного от $\pi/2$ при учёте турбулентной вязкости и диффузии. Вертикальная составляющая скорости стоксова дрейфа при этом также отлична и вносит свой вклад в вертикальный перенос. Суммарные волновые потоки представляет интерес сравнить с соответствующими турбулентными потоками.

Волновые потоки рассчитаем для внутренних волн, которые наблюдались в ходе эксперимента на северо-западном шельфе Чёрного моря в третьем этапе 44-го рейса научно-исследовательского судна «Михаил Ломоносов». Вертикальные профили частоты Вяйсяля–Брента и двух скорости течения на северо-западном шельфе Чёрного моря представлены на рис. 1.



а – вертикальные профили компонент скорости течения U_0 (·····), *б* – V_0 (———)

Рис. 1. Вертикальный профиль частоты Вяйсяля–Брента



а – I мода с течением (———) и без течения (·····);
II мода без течения (– – – – –) и с течением (– – –); *б* – зависимость декремента затухания волны от частоты для II моды с течением (———) и без течения (·····); *в* – то же для I моды

Рис. 2. Дисперсионные кривые

Дисперсионные кривые первых двух мод при наличии и отсутствии течения представлены на рис. 2а. При наличии течения дисперсионные кривые несколько выше. Декремент затухания волны у второй моды выше, чем у первой и при наличии течения по модулю меньше, чем при его отсутствии.

Профили вертикальных волновых потоков соли у пятнадцатиминутных внутренних волн второй моды, наблюдавшихся в эксперименте, показаны на рис. 3. При наличии течения волновые потоки несколько меньше, чем при его отсутствии и больше турбулентного потока.

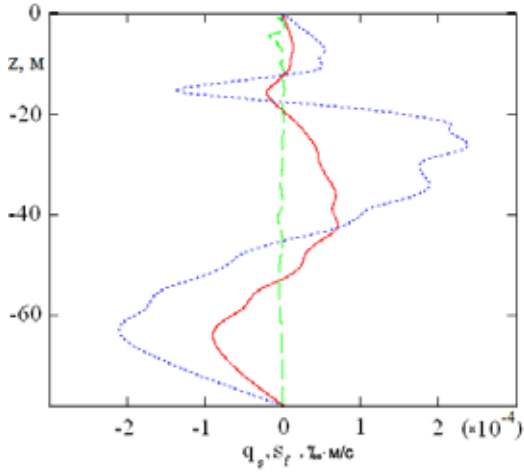


Рис. 3. Профили волновых и турбулентного потоков соли: при наличии течения (———) и при его отсутствии (·····); профиль турбулентного потока соли (– – –)

Определяющий вклад в вертикальный волновой перенос вносит вертикальная составляющая скорости стоксова дрейфа, которая отлична от нуля при учёте турбулентной вязкости и диффузии.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **LeBlond, P. H.** On damping of internal gravity waves in a continuously stratified ocean // J. Fluid Mech. – 1966. – 25, part 1. – P. 121–142.

2. **Островский, Л. А., Соустова И. А.** Верхний перемешанный слой как сток энергии внутренних волн / Л. А. Островский, И. А. Соустова // Океанология. – 1979. – 19. Вып. 6. – С. 973–981.

3. **Слепышев А. А.** Процессы переноса, обусловленные слабонелинейными внутренними волнами при наличии турбулентности // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 1997. – 33. № 4. – С. 536–548.

УДК 551.46.06; 551.465

ВЛИЯНИЕ АПВЕЛЛИНГА НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОТОКОВ ТЕПЛА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Лемешко Е. Е.[1], Репина И. А.[2]

[1] Морской гидрофизический институт НАН Украины, ул. Капитанская, 2, 299011, г. Севастополь, +7(978)895-53-04, egor.lem.88@gmail.com
[2] Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер., 3, 119017, г. Москва, iar.ifaran@gmail.com

It is derived from comparison of in-situ data and ERA-INTERIM re-analysis that turbulent and latent heat fluxes might be in 5-10 times more than averaged seasonal values by different sea regions during upwelling. It was concluded that there is enough sensitivity of re-analysis data on intensive coastal upwelling manifestation.

Цель работы заключалась в оценке чувствительности отклика полей атмосферного ре-анализа на процессы в верхнем слое моря на основе сопоставления с контактными данными измерений потоков тепла и влаги в прибрежной зоне моря при интенсивном апвеллинге.

Детальная обработка данных о структуре атмосферной турбулентности при апвеллингах позволяет установить зависимости обменных процессов (потоков тепла, влаги, импульса, коэффициентов обмена) от фоновых условий (разницы температур вода-воздух, скорости ветра, влажности, продолжительности апвеллинга). При анализе экспериментальных данных, полученных во время интенсивных и продолжительных апвеллингов [1] было обнаружено, что в период развития апвеллинга в атмосфере возникают мезомасштабные колебательные процессы. Для изучения влияния апвеллингов на характеристики теплообмена в прибрежной зоне моря в первую очередь необходимо оценить возможность использования для этой цели данных атмосферных ре-анализов, в част-

ности, ERA-Interim (http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim_full_daily/) и исследовать их чувствительность к вариациям потоков тепла и влаги при апвеллингах.

Выделение и классификация интенсивных апвеллингов проводилась по спутниковой температуре поверхности воды с использованием метода самоорганизующихся карт температуры поверхности Черного моря [2]. Для выделенных временных интервалов апвеллинга анализировалась изменчивость потоков скрытого и явного тепла по данным реанализа ERA-Interim с разрешением по времени 6 часов, эти данные осреднялись по одноградусному квадрату с центром в океанографической платформе ЭО МГИ пгт. Кацивели, потоки над сушой убирались. Далее для сопоставления с ними использовались данные контактных измерений в ЭО МГИ [1].

Потоки явного тепла (H) по данным измерений на океанографической платформе и данным ре-анализа осреднены по 1´ 1 градусному квадрату. В целом соответствие между значениями потоков удовлетворительное, увеличение значений потока H по данным ре-анализа хорошо коррелирует с понижением температуры воды на платформе во время развития апвеллинга. При этом величина измеренных потоков H практически не меняется, что говорит о высокочастотной изменчивости этого процесса, который сглаживается при 12 часовом осреднении.

Аналогичным образом сопоставлялись потоки скрытого тепла или влаги (*L*). Следует отметить хорошее качественное и количественное соответствие между значениями потоков, которые хорошо коррелируют с понижением температуры воды во время развития апвеллинга.

В результате можно сделать следующий вывод: несмотря на достаточно грубое разрешение данных ре-анализа по пространству (0.75´ 0.75 градуса) и 6 часов по времени, а также использования осреднения по району моря 1´ 1 градус при формировании временных рядов, локальное изменение температуры морской поверхности при интенсивных и длительных апвеллингах проявляется в изменчивости потоков тепла по данным ре-анализа. Высокочастотная временная изменчивость потоков тепла изучалась на основе анализа данных 10 минутных измерений температуры воды, воздуха, скорости ветра, влажности. При этом значения температуры воды и потоков тепла *H* сглаживались по часовым интервалам, чтобы устранить высокочастотный шум.

Отмечается и высокая изменчивость потока скрытого тепла *L*. Такая высокочастотная модуляция потоков тепла во время апвеллингов оказывает значительное влияние на приводный пограничный слой. Таким образом, этот эффект требует дальнейшего изучения и разработки параметриза-

ции для учета высокочастотной изменчивости потоков тепла при разработке современных моделей атмосферного ре-анализа.

Так как длительные интенсивные апвеллинги проявляются в значениях характеристик энергообмена, мы посчитали целесообразным привести оценки потоков по разным районам моря в среднем за период 2000–2005 гг.

Как следует из сопоставления данных, при интенсивных (температура воды понижалась до 10^0C) и длительных (длительностью до 1–3 недель) апвеллингах потоки скрытого и явного тепла могут в 5–10 раз превышать средние сезонные оценки по различным районам моря.

В результате, следует сделать положительный вывод о достаточной чувствительности проанализированных полей ре-анализа при разрешении по пространству 0.75 градуса и шагом по времени 6 часов на развитие интенсивного прибрежного апвеллинга:

· Величины потоков по данным измерений на платформе и данных ре-анализа сопоставимы за период измерений.

· Данные пригодны для получения количественных оценок влияния интенсивных апвеллингов на изменение структуры морской поверхности и приводного слоя атмосферы в прибрежных зонах моря.

Е. Е. Лемешко и И. А. Репина благодарят РФФИ за поддержку, исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ «мол_нр» РФФИ «Исследование межгодовой изменчивости проявлений апвеллинга и его связи с атмосферными процессами в Черноморском регионе».

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Чухарев А. М., Репина И. А.** Взаимодействие пограничных слоев моря и атмосферы на малых и средних масштабах в прибрежной зоне // Морской гидрофизический журнал. – 2012. – № 2. – С. 60–78.

2. **Лемешко Е. Е., Репина И. А., Лемешко Е. М.** Идентификация проявлений апвеллинга методом самоорганизующихся карт температуры поверхности Черного моря. – Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2013. Вып. 19. С.135–139.

УДК 551.468+465

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИБРЕЖНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В РАЙОНЕ ДЕЛЬТЫ ДУНАЯ

Цыганова М. В., Лемешко Е. М., Рябцев Ю. Н., Фомин В. В.

Морской гидрофизический институт, Капитанская, 2, 299011, Севастополь, mteresh@yandex.ru

Paper is focused on the numerical modelling of main circulation features of the Western Black Sea shelf that previously were derived from observational study of coastal buoyant-driven current system of the Danube water propagation.

Сток Дуная составляет около 70% общего речного стока в Черное море, и определяет экологическое состояние вод северо-западного шельфа. Данная работа посвящена моделированию прибрежной циркуляции вод в районе дельты Дуная при различных скоростях и направлениях ветра. В работе изучается влияние стока Дуная на гидрологические процессы в прибрежной зоне моря и формирование течений. Для решения этой задачи использовалась трехмерная численная модель ECOMSED, адаптированная к северо-западному шельфу Черного моря. Сезонная часть берегового течения Дуная зависит от сезонной изменчивости расходов Дуная, ветрового воздействия и влияния антициклонических вихрей и меандров основного черноморского течения на границе шельфа. Результаты моделирования показывают, что поток, распространяющийся вдоль берега в антициклоническом направлении, формирует береговое течение Дуная (БТД), которое переносит основную часть пресной воды, поступающей со стоком реки, остальная часть рециркулирует в окрестности устья Дуная. Моделировались несколько различных вариантов: рассматривались разные величины расхода Дуная, задавалась стратификация вод на шельфе для весеннего сезона; выбирались различные варианты ветрового воздействия. Для визуализации результатов численного моделирования используется компьютерная презентация эволюции БТД и термохалинных полей.

В численных экспериментах получены результаты, которые согласуются с данными долгосрочных наблюдений: при северном и северо-восточном ветре БТД распространялось вдоль побережья и в ряде случаев достигало турецкого шельфа. Во втором случае, при воздействии южных и юго-западных ветров распространение БТД в южном направ-

лении блокировалась. Блокирование также может осуществляться и при наличии интенсивного антициклонического вихря в юго-западной части ЧМ, который часто наблюдается как по данным гидрологии, так и в поле температуры поверхности моря на изображениях со спутников NOAA AVHRR и SeaWiFS и аномалий уровня моря по данным альтиметрии.

Сопоставление результатов численных экспериментов с данными натурных наблюдений показало, что модель ECOMSED пригодна для моделирования распространения дунайских вод и динамических процессов на шельфе.

УДК 621.31

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА И МЕТОДЫ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ПРИБРЕЖНЫХ И ПРОЛИВНЫХ АКВАТОРИЙ

Чепыженко А. И.[1], Чепыженко А. А.[2]

[1]Морской гидрофизический институт РАН,
Капитанская ул., 2, 299011, г. Севастополь, +7978-7096-101,
ecodevice@yandex.ru
[2] НПП Аквастандарт, ул. Кирпичная 40, 299011, г. Севастополь, +7978-7256-347, annachep87@ya.ru

Methods and approaches of experiments' conducting and tools for undertaking the oceanographic research, including experiments from the board of moving vessels are presented. The cable, autonomous and free-falling meters for vertical profiling of an aquatic ambiance are reviewed.

Создание ведущими мировыми компаниями новых инструментальных средств океанографических исследований и изучения параметров водной экосистемы основанные на новых принципах измерения, включая специализированные сенсоры измерения гидрохимических (фосфатов, нитратов, аммония), биологических (CDOM, TSM, свойств хлорофилла, феофетина, фикобелина, фито и зоо планктона); растворенных газов – метана, CO_2; выявили многие недостатки предшествующих исследований и позволили на новом качественном уровне подойти к мето-

дологии проведения экспериментов с учетом основополагающего требования – получение данных, адекватно описывающих параметры водной среды. Анализ данных собственных исследований многопараметрическими зондами в прибрежных, устьевых и проливных зонах, результатов исследований многопараметрических гидрохимических зондов (SubChem, компании SubChem Systems, Inc.; сенсоры на нитраты, нитриты, фосфаты, аммоний компании Valeport) и проточной системой Ferry-box позволяет сделать тот же вывод, что и многие исследователи ведущих компаний – разработчиков и пользователей океанографической техники – погрешность данных исследований обусловлена не только и не столько погрешностью измерительных каналов, сколько изменчивостью водной среды во время проведения съемки полигона. Это особенно критично для динамически активных акваторий – устьевых и проливных районов. В частности, при исследовании в Керченском проливе, в результате изменения метеоусловий за 2–3 часа направление ветра, а, следовательно, и перенос в проливе азовоморских и черноморских водных масс с присущими им концентрациями веществ менялся на диаметрально противоположный. Что вызывало изменение пространственного и вертикального распределения в проливе солености, взвеси, РОВ, хлорофилла в 2–3 и более раз. А если учесть, что за время проведения съемки полигона (2–3 дня) направление и сила ветра меняется по 2–3 и более раз данные исследований являются, по меньшей мере, сомнительными. Аналогичные проблемы с отбором проб по стандартным горизонтам с последующим применением аналитических методов – с учетом высокой изменчивости и сильно выраженной тонкой структуры распределения нитратов, фосфатов, аммония (до 1,5–2 порядков) на глубинах до 25–30 м (по результатам исследований гидрохимических зондов SubChem).

Пути повышения достоверности данных, применяемая в настоящее время в Европе и США, наряду с мульти канальностью комплексов, направлены и на оперативность проведения исследований – или **минимизация времени** (применение автономных БПЛ типа Hydroid Ivtr2, Remus и др.; проведение исследований на ходу судна типа UCTD или **одномоментная съемка** с применением систем типа Verticfl Profiling Winch System компании InterOkean System Inc. Последние системы сбора данных являются достаточно экзотическими, вследствие дороговизны, однако наиболее объективными.

За последние 7–8 лет в компании НПП Аквастандарт принята концепция модульной структуры построения комплексов на основе разработанной серии измерительных каналов в конструктивно завершенных

модулей. При этом состав зонда определяется физической задачей – выбираются наиболее информативные параметры, комплектуются имеющимися или создаются новые измерительные модули решающие поставленные задачи, на основе временной изменчивости исследуемого процесса выбирается скорость и метод сбора данных. В частности – при исследовании литодинамических процессов – кроме скорости и направления течения измеряются характеристики взвеси (концентрации, дисперсного состава, компонентный состав – минеральный/органический; при биофизических исследованиях – фотосинтетически активную радиацию, концентрацию и свойства хлорофилла-а, концентрацию растворенного органического вещества, феофетина, фикобелинов, биолюминесценции зоо-планктона и т. д.

При этом исполнение комплекса может быть как ***кабельное*** – предпочтительно для малых глубин; ***автономное*** – до глубин 500 м и более, а так же в виде ***свободно падающего возвращаемого зонда*** – для проведения исследований до 250 м на ходу судна до 12 узлов. В настоящее время на основе представленных выше измерительных модулей создается исполнение, аналогичное системе Verticfl Profiling Winch System – сканирующих океанографический комплекс донного базирования «СурОК». Комплекс «СурОК» предназначена для одномоментного сбора данных по сетке станций в узлах которой установлены комплексы. Синхронизация сканирования с выдержкой на заданных горизонтах модулей установленных по сетке с последующим сбором и передачей данных позволяет наиболее адекватно описывает физические процессы в высоко динамичных районах мирового океана. Минимальны габариты сканирующего модуля и незначительное время нахождения на поверхности не препятствуют судоходству, при этом является малозаметным, что является важным для антивандпального исполнения. При одиночной постановке комплекс «СурОК» является океанографической обсерваторией. Данный подход применен при разработке многочисленных измерительных модулей из которых комплектуются или биофизические комплексы («Кондор» (рис. 1а), «ГБА», «САЛЬПА» и др.) кабельного или автономного исполнения, или свободно падающие возвращаемые зонды типа «Нырок» (рис. 1в) для работы на ходу судна до 10–12 узлов. В зависимости от задачи исследований комплексы оснащается измерительными модулями, включающими – температура, электропроводность (расчетная соленость), спектральная прозрачность (на 1, 3 или 2000 участках спектра от 380 до 750нм), концентрации суммарного взвешенного вещества, концентрации растворенного органического вещества (спектрофотометрический – CDOM-S или флуоресцентній – CDOM-Flu),

концентрации хлорофилла (спектрофотометрический – Chl-S или флуоресцентній – Chl-Flu), концентрации зоопланктона – БИО, фотосинтетически активной радиации (ФАР), рефрактометр (ДР), дисперсного состава (трех-групповой – ИДС и 128 групповой – ЛИДС), концентрации фикобелинов (Fb-Flu), скорости звука (СЗ), скорости и направления течения (ИТА). Некоторые модули и исполнение биофизических зондов представлены на сайте http://ecodevice.com.ua. Варианты исполнения включают кабельный (с кевларовым кабель-троссом) – рекомендуется для малых глубин (до 60–80 м); автономный – до глубин 500 и более метров; и свободно-падающий – для проведения работ на ходу судна. Регистрация и накопление данных в кабельном варианте выполняется на выносной пульт, в автономном и свободнопадающем – на внутреннюю флеш-память с последующей перезаписью на ПК. Конструктивные особенности некоторых модулей ограничивают их применение в свободнопадающем варианте исполнения.

Рис. 1. Зондирующий комплекс КОНДОР (а), электрическая мини-лебедка МИНИ–ЛГЭ (б) и свободно-падающий возвращаемый зонд «Нырок» (в)

Существенным элементом погрешности исследований является загрязнение и обрастание иллюминаторов при даже незначительном времени нахождения приборов в водной среде. В некоторых измерительных каналах (мутности, спектрального ослабления направленного света (прозрачномерах) применена особая оптико-механическая система, обеспечившая погрешность, не превышающую 2,5% даже при обрастании иллюминаторов пленкой в 11м-1. Комплектование комплекса пор-

тативной геофизической электрической мини-лебедкой «Мини-ЛГЭ» (рис. 1б) является важным элементом оперативности проведения океанографических исследований с необорудованных и любых маломерных судов (включая лодки типа «Зодиак») мультипараметрическими автономными комплексами и штатным элементом бортового устройства при проведении исследовании до 250 м свободно падающим возвращающим зондом на ходу судна до 12 узлов.

Представленные автономные приборы и комплексы в течение более 8 лет эффективно применяются в многочисленных морских исследованиях в ряде научных организациях России и Украины.

УДК 551.465

ТЕРМОХАЛИННАЯ СТРУКТУРА ВОД НАД ШЕЛЬФОМ СОЛОНОВАТОГО МОРЯ В ПЕРИОД РАННЕВЕСЕННЕГО ПРОГРЕВА

Багаев А. В.[1], Чубаренко И. П.[2]

[1] Морской гидрофизический институт, ул. Капитанская, 2, г. Севастополь 299011, +7 (978)7678184, bagaiev.andrei@gmail.com
[2] Атлантическое отделение ИО РАН им. П.П. Ширшова, просп. Мира, 1, г. Калининград 236022, +7 (4012) 956911, irina_chubarenko@mail.ru

Paper presents an analysis of *in situ* CTD data collected during surveys conducted by IO RAN research vessels over the shelf of the Gdansk bay of the Baltic sea in spring of 2008-2013. The results revealed the evolution of vertical thermochaline structure during the period when water temperature in the upper layer passes over the temperature of maximum density, i.e. vertical mixing is replaced by summer direct vertical temperature stratification.

В солоноватом Балтийском море температура воды в поверхностном слое после типичных зим опускается ниже температуры максимальной плотности ($T_{мп}$). Это приводит к созданию условий для возникновения сезонного каскадинга холодных более плотных вод вдоль береговых подводных склонов в период ранневесеннего прогрева [1]. Однако натурных наблюдений ранневесеннего каскадинга до настоящего времени

не опубликовано, и даже общая структура водообмена шельфа с глубоким морем в этот период остаётся неясной. Целью представленной работы является анализ экспедиционных натурных данных о процессе перестройки термохалинной структуры вод над шельфом Гданьского залива при сезонном переходе температуры воды через $T_{мп}$, то есть при переходе от режима вертикального перемешивания к формированию летнего термоклина.

Проанализированы данные мониторинга стандартного CTD-разреза от берега в глубокое море (от 5 до 70 м глубины с шагом 500 м), собранные в марте–июне 2008–2013 гг. лабораторией прибрежных систем АО ИОРАН. При обработке данных было использовано новое термодинамическое уравнение состояния морской воды TEOS10, основанное на использовании потенциала Гиббса и учитывающее конкретный солевой состав вод [2]. Поскольку исследуемый обмен – медленный и агеострофичный, особое внимание в работе уделяется анализу распределения свойств вод – потенциальной температуры (рис. 1), абсолютной солености, растворённого кислорода – вдоль изопикнических поверхностей.

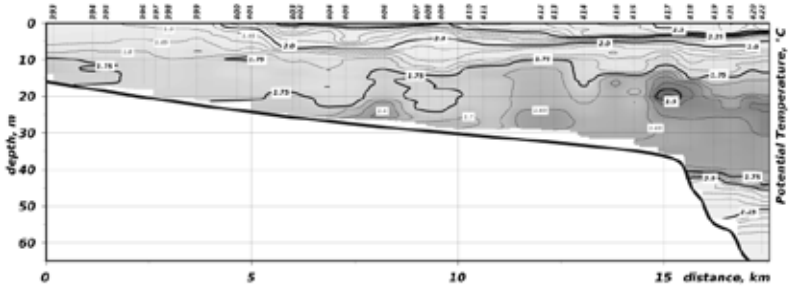


Рис. 1. Разрез 10.04.2013 в поле потенциальной температуры. Изолинии проведены через каждые 0.05 °C (тонкие) и 0.25 °C (жирные); на верхней оси даны номера станций, их местоположению на разрезе соответствуют тонкие вертикальные линии

Анализ вертикальных профилей и *TS*-диаграмм (рис. 2) для станций, выполнявшихся повторно, позволил выявить присутствие множественных изопикнических интрузий, наблюдаемых в промежуточных слоях (наиболее активно – на горизонтах 10–15 м и 35–50 м). Проведён анализ поля градиента гидростатического давления вдоль изопикн, что позволило выделить две подобласти с разнонаправленными медленными движениями вод (от и к берегу) и сформулировать гипотезу о структуре

вдольбереговых геострофических струй, которые над склоном имеют ширину порядка 5 км. В целом, по-видимому, водообмен между шельфом и глубоким морем (т. е. – поперёк берега), возникающий из-за дифференциального прогрева прибрежных вод при $T<T_{мп}$, реализуется в полосе шириной до 10–15 км от берега, причём в мелководной части имеется ячейка вертикального перемешивания, а в области существования вдольберегового геострофического течения – обмен ограничен по вертикали приповерхностным и придонным слоями, что поддерживает вертикальную стратификацию даже в условиях прогрева от $T<T_{мп}$.

Анализ проводился при поддержке РФФИ, проект № 14-35-50398.

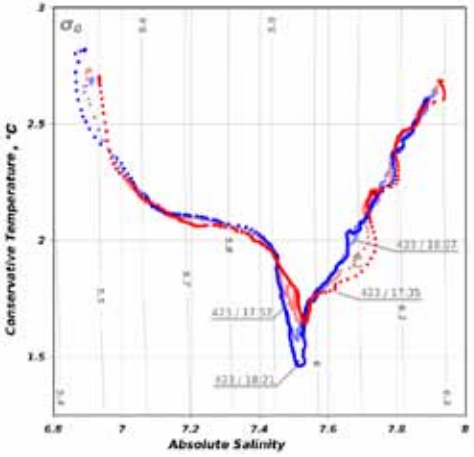


Рис. 2. Диаграмма вычисленных свойств морской воды в координатах консервативной температуры и абсолютной солености для повторной станции №423 в глубоководной части шельфа.
Тонкими линиями нанесены изопикны с шагом 0.1 кг/м^3. Стрелками показано время измерений

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Чубаренко И. П.** Горизонтальная конвекция над подводными склонами. – Калининград: Терра Балтика, 2010. – 256 с. ISBN-978-5-98777-050-4.

2. **Replacement** of EOS-80 with the International Thermodynamic Equation of Seawater – 2010 (TEOS-10). Announcement. // Deep Sea Research I. – 2011. – 58. – p. 978.

УДК 535.015

ГИДРООПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД

Латушкин А. А., Мартынов О. В.

Морской гидрофизический институт РАН,
ул. Капитанская, 2, 299011, г. Севастополь, +7 8692 540452,
ocean@alpha.mhi.iuf.net

Researches of the optical structure of the Sevastopol bay waters' are presented. The dependence between total suspended matter (TSM) and water beam attenuation coefficient at 660 nm has been established. Spectral distributions of beam attenuation coefficient are obtained. Spatial and vertical distribution of TSM is discussed.

Оптическая структура водной среды Севастопольской бухты имеет сложный характер, определяемый множеством источников и различием характеристик поступающих веществ. Малые глубины и особенности рельефа берега приводят к значительной изменчивости пространственной структуры как природных, так и загрязняющих веществ и ее быстрой перестройки в зависимости от интенсивности и направления ветра. Ситуация значительно усложняется сформированными за многие годы донными отложениями, значительное количество которых, находясь в неустойчивом состоянии в придонной области и при возникновении возмущений, переходят во взвешенное состояние, вызывая вторичное загрязнение прибрежной зоны. К тому же перепрофилирование ранее существующих и возникновение новых предприятий в непосредственной близости от береговой черты Севастопольской бухты существенно меняет факторы воздействия на экосистему бухты. Поэтому получение возможности оперативного выявления источников загрязнения вод, определения путей их распространения является первоочередной задачей, решение которой возможно найти при использовании оптических методов исследования.

Для исследования оптической структуры Севастопольской бухты был выбран метод анализа спектрального распределения показателя ослабления направленного света (ПОС) in situ [1].

Мониторинговые исследования акватории Севастопольской бухты выполнялись в начале ноября 2014 г (схема станций приведена на рис. 1). На каждой из станций производилось зондирование водной толщи спектральным измерителем показателя ослабления направленного света, разработанным в отделе Оптики моря МГИ [2], в девяти спектральных участках (370; 400; 447,5; 470; 505; 530; 590; 617 и 660 нм). Параллельно отбирались пробы для дальнейшего определения концентрации общего взвешенного вещества гравиметрическим методом.

Рис. 1. Схема станций

Между данными измерений ПОС на длине волны 660 нм и измерениями концентрации суммарного взвешенного вещества гравиметрическим методом для акватории Севастопольской бухты была выявлена достаточно высокая корреляционная взаимосвязь ($R^2 = 0{,}98$), регрессионное уравнение их связывающие приведено на рис. 2.

На основании полученной зависимости была построена карта распределения взвешенного вещества на исследованной акватории (рис. 3). Получено, что в ноябре 2014 г. концентрация общего взвешенного вещества в Севастопольской бухте изменялась от 1 мг/л на внешнем рейде до 10 мг/л в кутовой части бухты.

Особенности пространственного распределения общего взвешенного вещества на акватории Севастопольской бухты формируются в зависимости от вклада каждого из существующих по обе стороны бухты источников его поступления. При всем разнообразии источников, доминирующим являются воды р. Черная. Устьевая зона р. Черная расположена в кутовой, наиболее удаленной части бухты. Значения концентрации взвеси здесь достигают 10 мг/л, что примерно в 5 раз превышает

значения концентрации взвеси на выходе из бухты. Зона влияния стока р. Черная достигает центра бухты. В меньшей степени в суммарное загрязнение бухты взвешенным веществом вносит свой вклад Севастопольский морской завод, находящийся на выходе из Южной бухты (станции 20 и 21). Значения взвешенного вещества здесь достигает 3,4–3,7 мг/л.

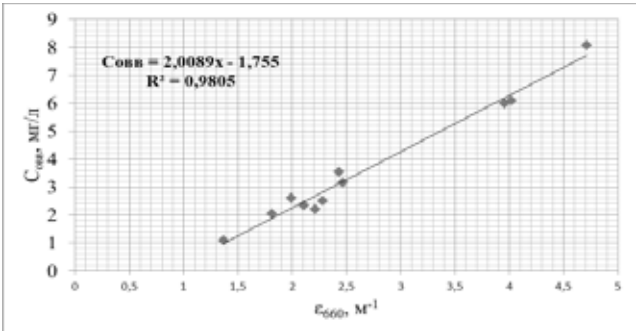


Рис. 2. Корреляционная зависимость ПОС на 660 нм с концентрацией ОВВ

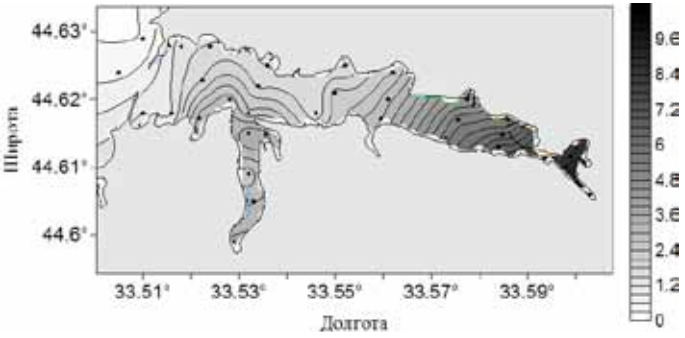


Рис. 3. Распределение концентрации общего взвешенного вещества (мг/л) на поверхности Севастопольской бухты

Анализ вертикального распределения показателя ослабления света для акватории Севастопольской бухты позволил выявить общую закономерность: на глубоководных станциях наблюдалось увеличение прозрачности в поверхностном слое и в придонном слое, что показано на примере ст. 22 (рис. 4а); а на мелководных станциях с увеличением глубины отмечается равномерное увеличение ПОС (рис. 4б).

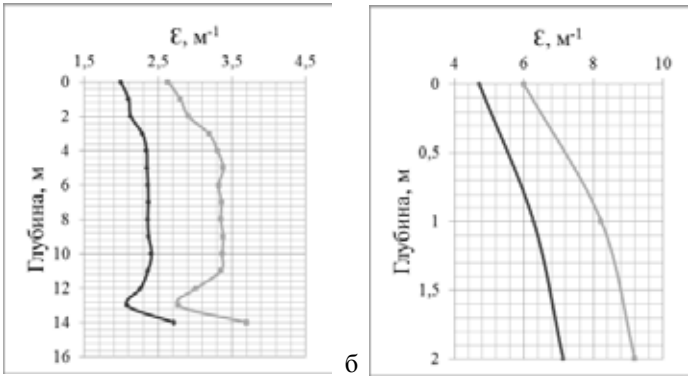


Рис. 4. Вертикальные профили ПОС на 370 нм (черная линия) и 660 нм (серая линия) на 22-й станции (а); 1-й станции (б)

На рис. 5 показано спектральные распределения показателя ослабления света в различных частях Севастопольской бухты в точках, расположенных вблизи осевой линии бухты, по которым можно проследить влияние вод реки Черной на спектральное распределение ПОС: спектр на станции 27 – на входе в бухту, спектр на станции 1 – у устья реки Черной и спектр на промежуточной станции 12. По мере увеличения содержания вод реки Черной, значения ПОС более быстро увеличиваются в фиолетовой области. Такие изменения в спектральном распределении показателя ослабления света обусловлены увеличением в воде концентрации желтого вещества.

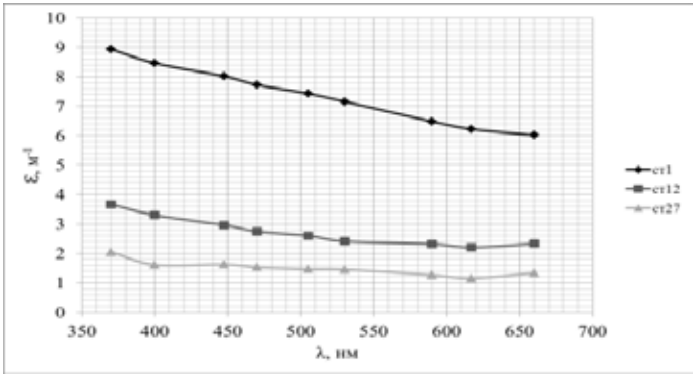


Рис. 5. Спектральное распределение ПОС на станциях 1, 12 и 27

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Монин, А. С.** Оптика океана // М.: Наука, 1983. – 372 с.

2. **Латушкин, А. А.** Многоканальный измеритель коэффициента ослабления света для проведения океанографических подспутниковых исследований // «Управление и мехатронные системы». Севастополь: МГИ НАН Украины, 2013. – С. 231–236.

УДК 532.59:534.1

ДИНАМИКА ВНУТРЕННИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В ОКЕАНЕ ПЕРЕМЕННОЙ ГЛУБИНЫ

Булатов В. В., Владимиров Ю. В.

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

The paper is devoted to research of internal wave dynamics in vertically stratified ocean with non-uniform depth and to development of asymptotic methods of wave field investigations.

В настоящее время наблюдается рост интереса к математическому моделированию динамики внутренних гравитационных волн (ВГВ) в 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. Доклад посвящен изложению фундаментальных проблем математического моделирования динамики ВГВ в океане переменной глубины и сравнению получаемых аналитических результатов с результатами численного моделирования и данными натурных измерений [1–4]. ВГВ в океане изучаются уже достаточно давно, и по данной тематике опубликовано значительное число работ. Тем не менее, в последнее время интерес к ним в какой-то степени угасает, что можно судить по общему количеству публикаций, посвященных данной проблематике. Вместе с тем, сейчас возникают новые направления в исследовании ВГВ, о которых ранее не говорилось. Во-первых, стало понятным, что в поле внутренних волн могут появ-

ляться аномально большие короткоживущие волны-убийцы, природа которых напоминает природу волн-убийц на поверхности моря. Во-вторых, сдвиговые течения во внутренних волнах приводят к большим изгибающим моментам на опоры нефтяных платформ, что уже приводило к деформации подводных технологических конструкций в ряде районов Мирового океана. Сейчас разрабатывается система мониторинга интенсивных ВГВ, аналогичная системе обнаружения волн цунами. В-третьих, внутренние волны способны вызвать транспорт донных наносов в глубоководных районах, где эффект поверхностных волн на дно минимален. Наконец, классические задачи воздействия внутренних волн на морскую поверхность по-прежнему остаются актуальными. На распространение ВГВ в океане существенное влияние оказывают неоднородность, нестационарность гидрофизических полей и изменение рельефа дна. При этом точные аналитические решения волновых задач можно получить только в случае, если распределение плотности воды и форма дна описываются достаточно простыми модельными функциями. Когда характеристики среды и границы произвольны, можно построить только численные решения таких задач. Однако численное моделирование не позволяет качественно анализировать характеристики волновых полей, особенно на больших расстояниях, что необходимо для решения, например, проблемы обнаружения ВГВ дистанционными методами, в том числе с помощью средств аэрокосмической радиолокации. В этом случае описание и анализ волновой динамики необходимо проводить на основе асимптотических моделей и аналитических методов их решения. Особый интерес к моделированию динамики ВГВ связан с интенсивным освоением Арктики и ее природных богатств, так как они пока недостаточно изучены в этом районе Мирового океана. Универсальный характер изложенных в докладе асимптотических методов моделирования ВГВ позволяет эффективно рассчитывать волновые поля, и, кроме того, качественно анализировать полученные решения. Тем самым открываются широкие возможности анализа волновых картин в целом, что важно и для правильной постановки математических моделей волновой динамики и проведения экспресс оценок натурных измерений волновых полей в морской среде. Особая роль разработанных асимптотических методов обусловлена тем обстоятельством, что параметры природных стратифицированных сред, как правило, известны приближенно, и попытки их точного численного решения по исходным уравнениям гидродинамики с использованием таких параметров могут привести к заметной потере точности получаемых результатов. На рисунках изображены результаты асимптотического (рис. 1) и численного (рис. 2) моделиро-

вания динамики ВГВ над неровным дном, а также результаты натурных наблюдений ВГВ в океане (рис. 3). Полученные результаты показывают, что волновые картины с ярко выраженной лучевой структурой могут наблюдаться в условиях реального океана при исследовании динамики ВГВ над неровным дном. В частности аналитические, численные и натурные данные показывают, что ширина волновых пучков уменьшается при приближении к берегу.

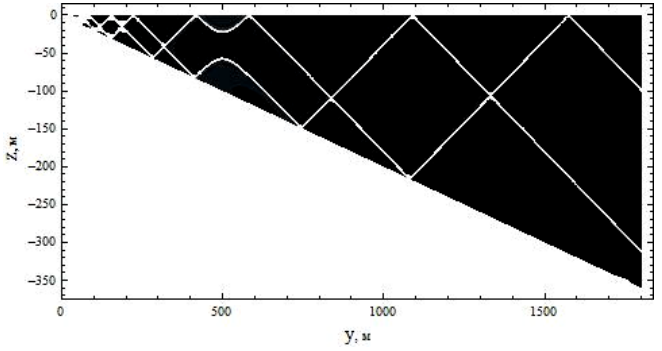


Рис. 1. Лучевая структура поля внутренних волн в океане переменной глубины: асимптотические результаты

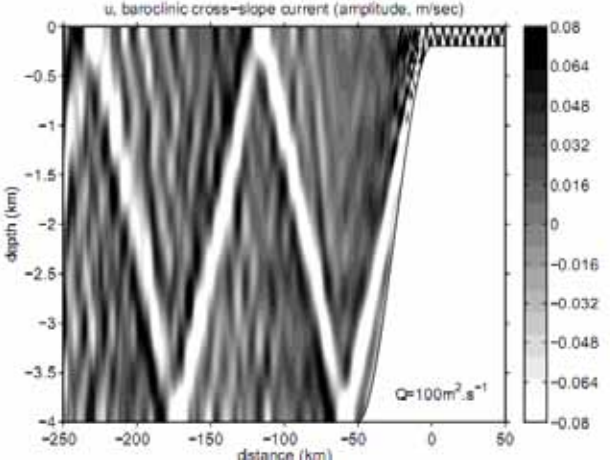


Рис. 2. Численное моделирование и лучевая структура внутренних волн в океане переменной глубины

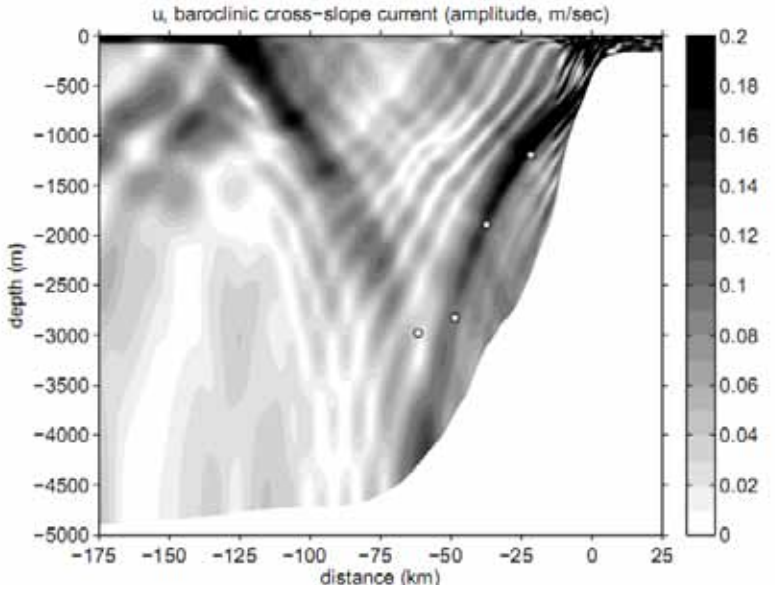


Рис. 3. Внутренние приливные волны на шельфе Бискайского залива: лучевая структура амплитуды вектора скорости

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты№ 14-01-00466, № 15-05-00030).

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. **Булатов, В.В., Владимиров, Ю.В.** Волновая динамика стратифицированных сред: теория и приложения. – Saarbrucken: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 577 с.

3. **Bulatov, V.V., Vladimirov, Yu.V.** Wave dynamics of stratified mediums. M.: Наука, 2012. – 584 с.

4. **Булатов, В.В., Владимиров, Ю.В.** Дальние поля внутренних гравитационных волн в неоднородных и нестационарных стратифицированных средах // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2013. – Т.6. – №2. – С.55–70.

УДК 551.46.08

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДРЕЙФУЮЩИХ БУЕВ В ЧЕРНОМ МОРЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТЕЧЕНИЙ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ В ДЕЯТЕЛЬНОМ СЛОЕ

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

Морской гидрофизический институт,
ул. Капитанская 2, 299011, г. Севастополь, +7(8692)54-04-50
marlin@marlin-yug.com

The review of drifter deployments in the Black Sea from 1999 to 2014. The advantage of pre-winter deployments of buoys, in comparison with spring and summer deployments, is that lifetime of buoys in operation is increased up to 2.5 times.

Применение дрейфующих буев (дрифтеров) в Черном море началось совместно с Институтом Океанологии РАН в 1999 г. Впоследствии к работам подключились другие страны, причастные к реализации проекта BSGOOS (Черноморский Сегмент Глобальной Системы Наблюдения Океана). Всего в период с 1999 по 2014 гг. было запущено 94 дрифтера различных модификаций. Начиная с 2004 г. началось использование дрифтеров с термисторными косами и подводными парусами и к 2014 г. в черноморских экспериментах было запущено 19 буев этого класса. Первые 6 буев имели термокосу длиной 60 м, остальные – 80 м. Последние версии буев были оснащены приемниками GPS и аппаратурой передачи данных через спутниковую систему Iridium, что позволило снизить погрешность восстановления траекторий и обеспечить доставку данных пользователям в режиме времени близком к реальному.

Особенность запуска дрифтеров в Черном море связана с циклоническим движением вод, когда основная струя воды шириной примерно 50–60 км движется вдоль свала глубин. Однако в весенне-летнее время активизируется вихревая активность, которая проявляется как в глубоководной части моря, так и на шельфе, включая свал глубин, что приводило к частому выбросу дрифтеров на берег. В тоже время в осенне-зимнее время вихревая активность спадает, что стало предпосылкой для изучения путей увеличения времени работы дрифтеров при запуске именно в это время. Так, для 13 буев, запущенных в 2006–2011 гг. в весенне-летний период, среднее время жизни составило 64 суток. Для 6

буев, запущенных в ноябре–декабре 2012–2014 гг. среднее время жизни составило 154 суток, т.е. в 2,5 раза больше. Перспективным представляется запуск дрифтеров в восточной части моря на траверзе г. Сочи. Связано это с малой вероятностью выброса буев на западное побережье, что позволяет дополнительно увеличить время жизни на 2–3 месяца.

УДК 551.46.062.7

СОЗДАНИЕ, ИСПЫТАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ ДРЕЙФУЮЩИХ БУЕВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПОЛЯРНЫХ И ПРИПОЛЯРНЫХ РЕГИОНАХ

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

Морской гидрофизический институт,
ул. Капитанская 2, 299011, г. Севастополь, +7(8692)54-04-50
marlin@marlin-yug.com

The report shows the results of jobs, carried out in 2012-2014, and directed on development, testing and implementation of various marine and ice buoys, designed to work in the polar regions, and especially in the Arctic.

Начиная с 2012 г., началась разработка, испытание и внедрение в систему глобальных наблюдений океана и приводной атмосферы различных морских и ледовых буев, предназначенных для работы в полярных регионах и прежде всего в Арктике. Был разработан ряд буйковых станций, предназначенных для решения различных задач. Микробуи в корпусах диаметром 20 см используются для изучения движения льдов в Обской губе и арктических морях, прилегающих к России. Парашютная версия этого буя применяется для маркировки льдин с животными. Специализированные буи разработаны для трассировки айсбергов и возможных нефтяных разливов в районах установки буровых платформ. Создана версия барометрических буев с подводными парусами для запуска в воде с последующим вмерзанием в ледовые образования для изучения их динамики. Наиболее важной разработкой являются не имеющие мировых аналогов буи для изучения термической изменчивости в верхнем слое океана, в том числе подо льдом в полярных регионах. Наиболее интенсивно этот инструмент применяется в Арктике в

рамках проекта UpTempo (Температура в верхнем слое в полярных регионах) Международной Арктической Буйковой Программы (IABP). Буй имеет специализированную термокосу и устанавливается либо в отверстие, пробуренное во льду, либо на поверхность океана с последующим вмерзанием в лед. По всей арктической акватории с помощью ледоколов в 2012–2014 гг. было запущено 28 таких буев. Была подтверждена возможность их безотказной работы в течение 1,5 лет. Получены уникальные данные синхронных измерений термической изменчивости в верхнем слое океана до глубины 60 м под ледовыми образованиями Северного Ледовитого океана. Доставка данных пользователям осуществляется по каналу спутниковой связи в режиме времени, близком к реальному.

УДК 53(551.46)

ТЕЧЕНИЯ ВОЛНОВОЙ ПРИРОДЫ В ОКЕАНАХ И МОРЯХ (ВОЛНЫ РОССБИ)

Щевьёв В. А.

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

Numerous measurements in oceans and seas show that the currents have a wave nature.

В многочисленных работах настоящего времени течения в океанах и морях называют геострофическими (струйными) т.е. течения, реализуемые в результате баланса силы горизонтального градиента давления и отклоняющей силы вращения Земли.

Лаппо С. С. на основе анализа результатов долговременных инструментальных наблюдений на буйковых станциях, которые проводились предыдущие 20 лет (ПОЛИМОДЕ и др.), сделал вывод: «Результаты наблюдений привели к **коренному пересмотру** представлений о закономерностях изменчивости течений в океане, что весьма резко расходилось с существующими теоретическими концепциями». Хорошее представление о течениях дают энергетические спектры (рис. 1). Основная энергия сосредоточена в длиннопериодных волновых течениях (ДПВТ)

и в инерционных (то же волновой природы). «**Начался волновой этап в изучении течений».**

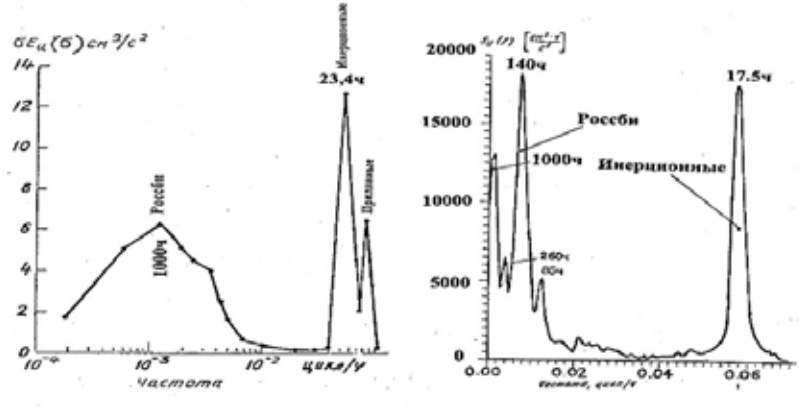


Рис. 1. Функции спектральной плотности в океане и в Каспии

Волновую природу течений можно показать по результатам измерений на АБС, и посредством дрифтерных наблюдений (рис. 2).

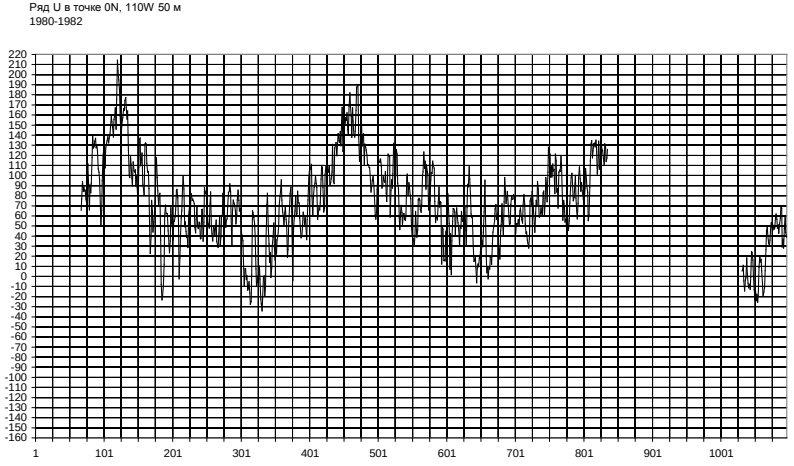


Рис. 2. Пример измерения течения на экваторе Тихого океана в пункте 0°, 110° W, на глубине 10 м, за 3 года, зональная компонента (W–E). Видны волны с периодом 20 суток и сезонные изменения скорости [3]

Основные признаки течения волновой природы – квазипериодическая изменчивость скорости и наличие фазовой скорости. Для выявления этих свойств по измерениям А. Л. Бондаренко устанавливал приборы АЦИТТ на расстоянии около половины ожидаемой длины волны [2].

На рис. 3 по разнице во времени прохождения одноименной волны на графиках «г, е» определена фазовая скорость равная 0,35 м/с. На графике «е» функциональная зависимость температуры от направления волнового течения.

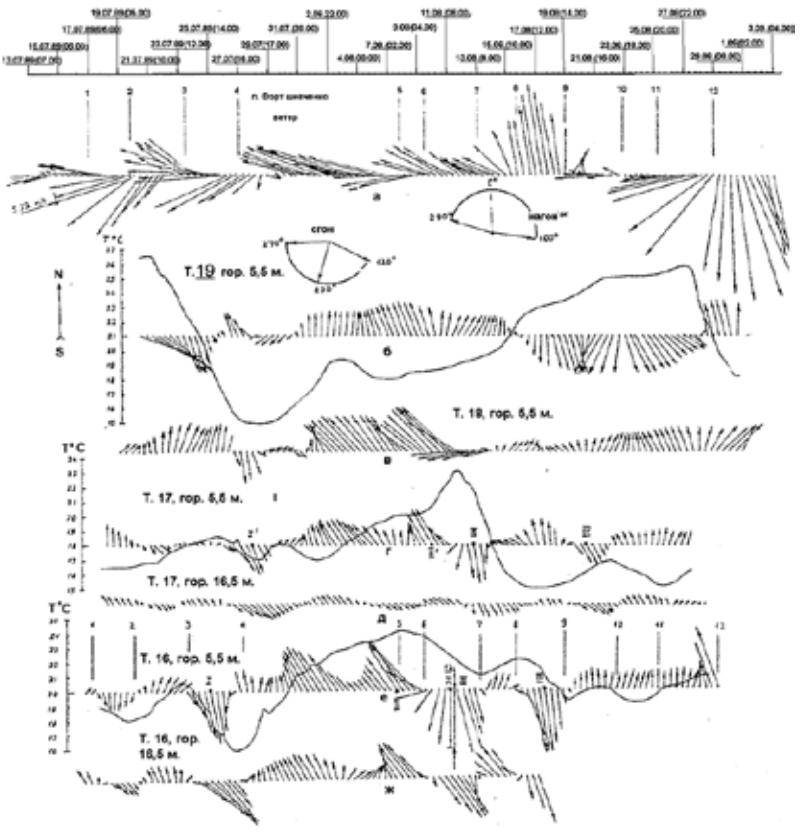


Рис. 3. Векторные диаграммы составляющих ветра в пункте порт Шевченко (а), течений в точках 16, 17, 18, 19 (б–ж), температуры воды в точках 16, 17, 19 на горизонте 5,5 м. (б, г, е) [2]

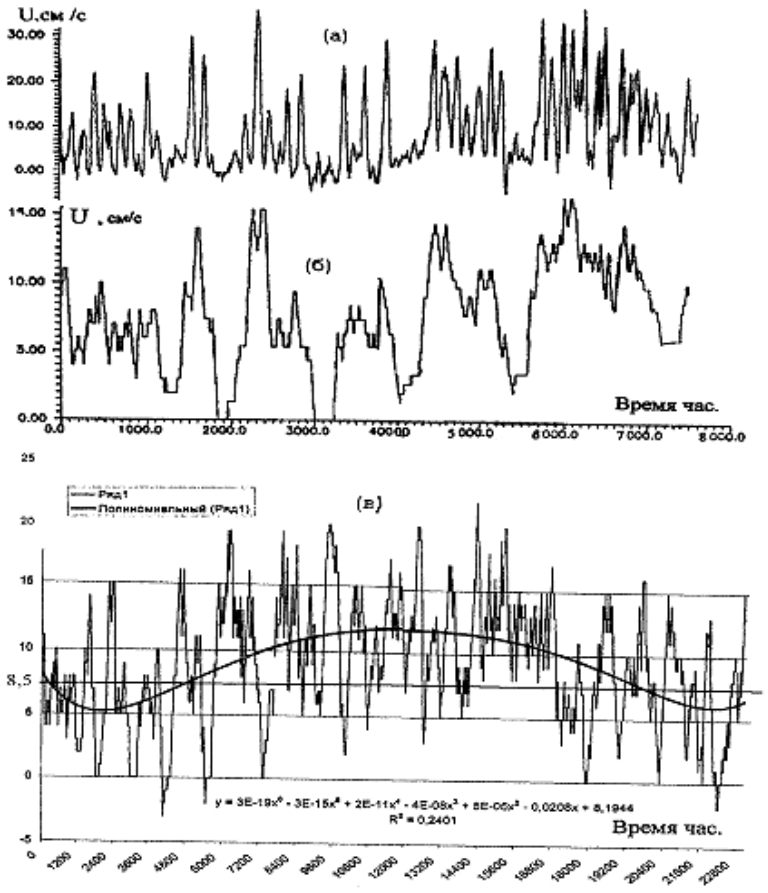


Рис. 4. Осредненный временной ряд вдольбереговой составляющей вектора скорости за год в пункте Нефтяные камни. Время осреднения $T_{\text{оср.}}$=48 ч. Фактически это течение волновой природы. $T_{\text{пер.}}$=140 ч. (а); тот же ряд, осредненный фильтром скользящее равновесное среднее со временем осреднения $T_{\text{оср.}}$=140 ч., представляет изменчивость скорости квазипостоянного течения Среднего Каспия (б); такой же временной ряд, но за 3 года. Время осреднения 140 ч. (в). Жирной линией показана изменчивость средней скорости квазипостоянного течения (получено с помощью полинома)

На рис. 5 представлена изменчивость скорости продвижения дрифтера в течении Гольфстрим. Скорость прохождения воды в объеме одного периода волны (100 км на 300 км на расстояние равное глубине) изменяется периодически от 2,4 м/с на выходе из Флоридского пролива, до минимальных значений (иногда почти до нуля), и затем снова увеличивается и т. д. Такое течение не может быть геострофическим. Гольфстрим – течение волновой природы. Для определения фазовой скорости необходимы измерения на АБС, расположенных на расстоянии 200–300 км.

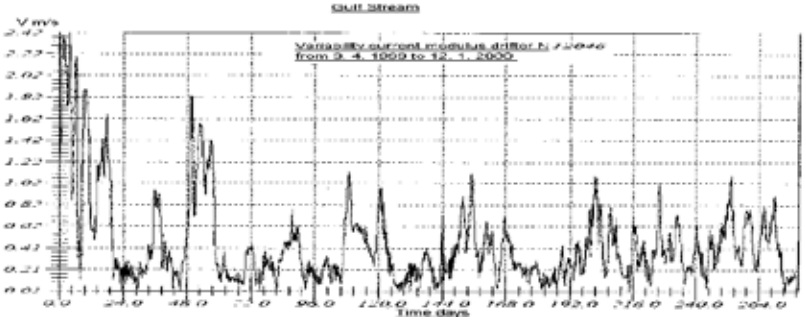


Рис. 5. Изменчивость скорости продвижения дрифтера №12046 в течении Гольфстрим (Бондаренко А. Л., 2009)

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Лаппо С. С.** Среднемасштабные динамические процессы океана, возбуждаемые атмосферой. М.: Наука, 1979. – 181 с.

2. **Бондаренко А. Л.** Течения Каспийского моря и формирование поля солености вод Северного Каспия. М.: Наука, 1993. – 122 с.

3. **Щевьёв** В. А. Физика течений в океанах, морях и в озерах. Издательство LAMBERT academic Publishing. Saarbruken, Germany. ISBN: 978-3-8484-1929-6. 2012. – 312 с.

4. **Щевьёв В. А**. Физика течений в океанах, морях и в озерах. http://www.randewy.ru/gml/shev5.html

УДК 53(551.46)

ВОЗМОЖНО ЛИ НАБЛЮДАТЬ СПИРАЛЬ ЭКМАНА?

(К 110 летию теории Экмана)

Щевьёв В. А.

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

Analysis of the physics of the formation of the wind currents shows that the occurrence of the Ekman spiral is fundamentally impossible.

В многочисленных работах настоящего времени ветровые течения в океанах и морях рассматриваются с позиции теории Экмана.

На рис. 1 представлено графическое изображение теории Экмана. «Абсолютная величина скорости дрейфового течения на поверхности моря U_0 пропорциональна тангенциальной силе трения, возникающей при движении воздуха над поверхностью воды. Направление этой скорости поверхностного течения составляет угол 45^0 с направлением ветра, причем течение отклоняется вправо от направления ветра в северном полушарии.

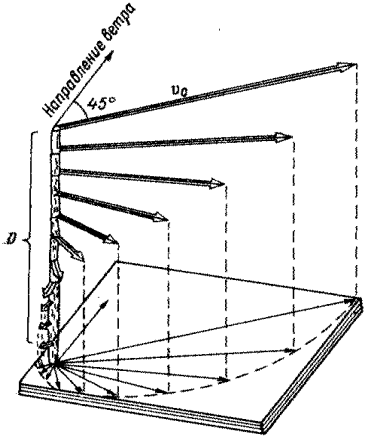


Рис. 1. Изменение скорости и направления ветрового течения

Чрезвычайно любопытно ведет себя вектор скорости течения при погружении в глубину – при увеличении z: по абсолютной величине он абсолютно уменьшается по экспоненциальному закону, а направление его все больше и больше поворачивается вправо.

Наконец на некоторой глубине вектор скорости оказывается направленным в сторону, противоположную скорости поверхностного течения» [1]. Таким образом представляют образование ветровых течений уже более 100 лет.

Другой результат получается, если представить физический процесс, который происходит при ветровом воздействии на водную поверхность. Сомнение вызывает то обстоятельство, что под действием ветра течение отклоняется на определенный угол (под действием Кориолисовой силы). В действительности сила Кориолиса действует на течение иначе. Течение отклоняется вправо (в северном полушарии) все время существования этого течения, а не единожды. Образуются круги инерции.

На рис. 2 представлены результаты измерения инерционных течений в Среднем Каспии. Период изменчивости равен 17,5 час.

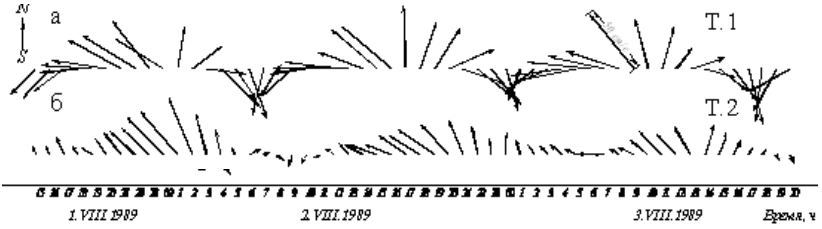


Рис. 2. Вектора скорости течений в Среднем Каспии [2]

Но таков будет результат в том случае, если ветровое течение имеет дрейфовый характер. В действительности Е. Г. Никифоров (1956) показал: «Опыт наблюдений показал, что все океанографические явления ветрового происхождения развиваются одновременно и в одном и том же пространстве. Любая частица воды одновременно участвует в следующих движениях: перемещается по траекториям ветрового течения, совершает движение по круговым орбитам и участвует в ветровом перемешивании. Толщина поверхностного слоя, охваченного этими движениями, определяется преобладающей длиной волны». По существу, из этой теории следует, что дрейфовых течений в чистом виде не существует. Ветровые течения – это волновой перенос ветровых волн, которые распространяются в направлении ветра.

В действительности есть еще одно обстоятельство, которое делает невозможным наблюдения спирали Экмана, даже если бы она существовала. На рис. 3 представлен образец записи скорости и направления течений в Северной Атлантике. Течение синхронно меняется по большому объему по всем горизонтам. На этом фоне ветровые течения выделить невозможно.

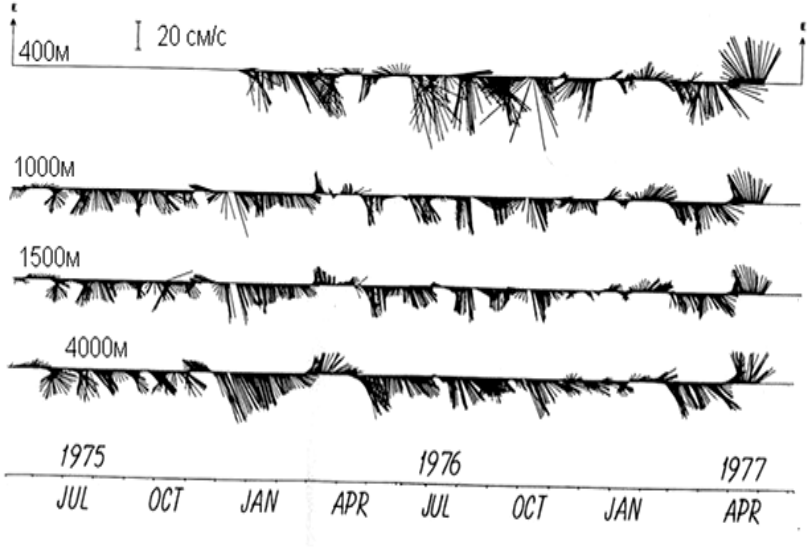


Рис. 3. Изменчивость скорости и направления течений в Северной Атлантике, эксперимент ПОЛИМОДЕ

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Шулейкин В. В.** Физика моря. – М.: Наука, 1968. – 1083 с.

2. **Бондаренко А. Л., Щевьёв В. А.** Изменение параметров инерционных волн в прибрежной зоне моря и на мелководьях. // Метеорология и гидрология, 2006. №2. – С. 82–87.

3. **Щевьёв** В. А. Физика течений в океанах, морях и в озерах. Издательство LAMBERT academic Publishing. Saarbruken, Germany. ISBN: 978-3-8484-1929-6. 2012. – 312 с.

4. **Щевьёв В. А**. Физика течений в океанах, морях и в озерах. http://www.randewy.ru/gml/shev5.html

УДК 551.35

О СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИПОКСИИ В КОТЛОВИНАХ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Амбросимов А. К.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-5190, ambrosimov@ocean.ru

In the work it is shown that the divergence in data of a hypoxia in bottom of the Caspian Sea leads to the wrong interpretation of supervision. Hypoxia increases at an intensification of supply of biogenous material and weakening of indignations of currents during the summer period and vice versa, the hypoxia decreases when weakening deliveries of biogenes and strengthening benthonic currents in the winter.

В последнее столетие наблюдается излишнее поступление биогенного вещества из поверхностного слоя в придонные воды Каспийского моря. Сравнение современных наблюдений с данными 1933–34 гг., полученных в экспедиции С.В. Бруевича, указывают на увеличение толщины сероводородного слоя до 100–150 м и увеличение гипоксии в придонном слое до 0,6 мл/л, что почти вдвое выше данных 1933–34 гг. Однако следует отметить, что сравнение эпизодических отрывочных данных, полученных в различные сезоны года приводят к неправильному толкованию в расхождении данных по гипоксии.

Наблюдения, выполненные в мае 2012 г. в 39-ом рейсе НИС «Рифт» (Савичев А. С.) (39-й рейс НИС «Рифт»), показали, что верхняя граница аналитически определяемого содержания H_2S в концентрации 0,05 мг/л в котловине Среднего Каспия находилась на глубине 660 м (рис. 1а). Концентрация H_2S возрастала ко дну и достигала на придонном горизонте (715 м) значения 0,2 мг/л. Таким образом, мощность сероводородного слоя на дне Дербентской котловины составила 60 м. Содержание кислорода на горизонте 640 м составило 0,13 мг/л. Это позволяет считать слой 640–680 м переходным от аэробного к сероводородосодержащему (анаэробному). Максимальная глубина котловины 780 м, отсюда следует, что глубина гипоксии у дна составляет 100–140 м.

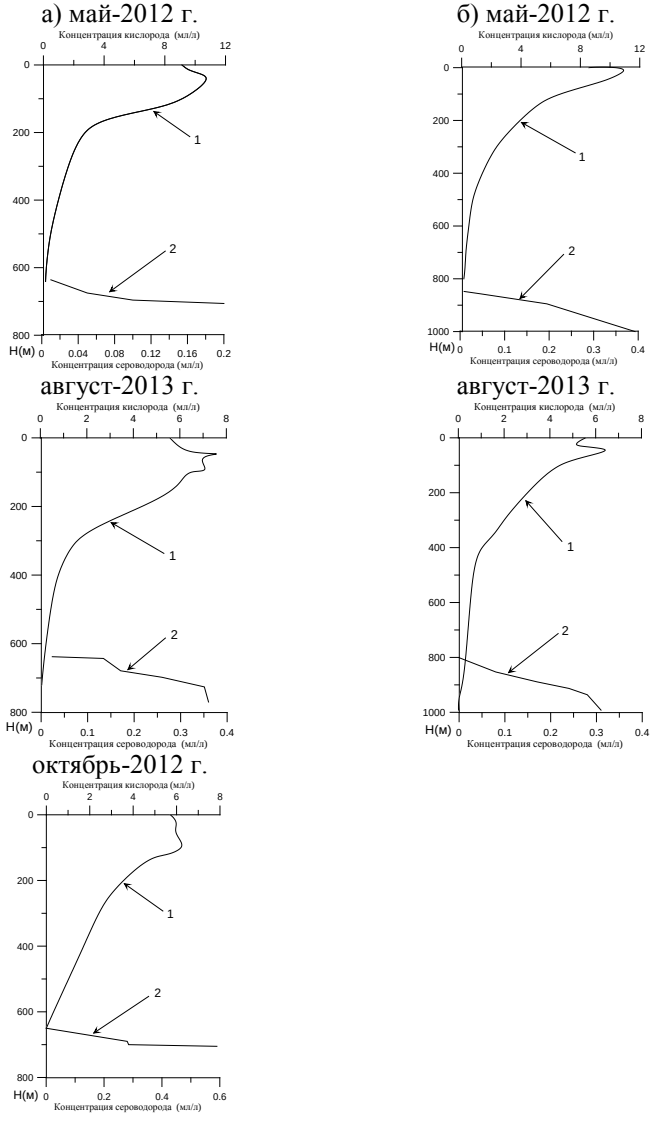


Рис. 1. Сезонные распределения кислорода и сероводорода с глубиной в котловинах а – Среднего Каспия и б – Южного Каспия ($1 – O_2$; $2 – H_2S$)

В Южной, наиболее глубокой впадине Каспийского моря, мощность сероводородного слоя, по наблюдениям в этом же рейсе, составила 150 м, а концентрация H_2S в придонном водном слое на глубине 1000 м – 0,2 мг/л. Переходный слой находится в интервале глубин 820–850 м.

Повторные наблюдения, проведенные в Средней и Южной котловинах в октябре 2012 г. в 41-м рейсе НИС «Рифт» (Торгунова Н. И., Артамонова К. В.), показали, что в Дербентской котловине максимальная концентрация H_2S увеличилась до 0,6 мл/л, В сентябре 2013 г. во 2-м рейсе НИС «Никифор Шуреков» (Духова Л. В.) значения концентраций сероводорода у дна обеих котловин составили 0,36 и 0,32 мл/л, соответственно.

Сезонная изменчивость распределения концентрации кислорода и сероводорода для котловин Среднего и Южного Каспия с глубиной представлена на рис. 1. В левом столбце представлены распределения для котловины Среднего Каспия для мая, августа и октября месяца, а в правом – для Южного. Однако здесь возникает вопрос в связи с заметным расхождением динамики гипоксии для Средней и Южной котловин, так в Дербентской котловине от мая к октябрю наблюдалось уменьшение концентрации кислорода в воде и увеличение концентрации сероводорода, а в Южной котловине в тот же период – при уменьшении кислорода падает и концентрация сероводорода.

Анализ сезонной изменчивости концентрации сероводорода в котловинах тесно связан с изменчивостью придонных течений. В летний период уменьшается динамика скоростей придонных течений и одновременно увеличивается поступление и аккумуляция биологического материала. От мая к октябрю происходит накопление биогенных элементов в придонной области и в отсутствии течений, перемешивания и дефицита кислорода возрастает гипоксия.

В холодный зимний сезон поставка биогенного материала резко уменьшается и одновременно усиливается динамика придонных движений воды, в результате чего за счет поступления кислорода и окисления сероводорода его концентрация уменьшается. Таким образом, имеет место годовая цикличность гипоксии, связанная с увеличением поступления и аккумуляции биологического материала от весны к осени в придонную область моря при ослаблении придонных течений и наоборот – противоположная ситуация в зимний период, когда динамика возмущений возрастает, а поступление биогенов ослабевает.

Этот процесс более выражен в Среднем Каспии по сравнению с Южным, что можно объяснить большим поступлением и аккумуляцией биогенных элементов, приходящих со стоком Волги в Средний Каспий

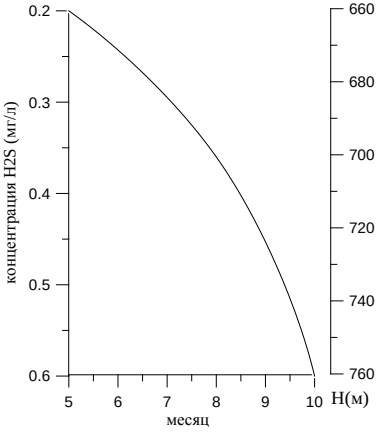


Рис. 2. Динамика роста концентрации сероводорода в котловине Среднего Каспия в зависимости от глубины и месяца наблюдений

по сравнению с поставками в Южный. Здесь также наблюдается более интенсивная динамика конвективного перемешивания в зимний сезон.

Анализ скоростей течений, полученных в котловинах Каспийского моря показал, что мезомасштабные движения воды, индуцируемые синоптической изменчивостью над морем, охватывают всю толщу моря. Форма этих низкочастотных колебаний с периодом в несколько суток, практически, без изменений передается от поверхности ко дну лишь с той разницей, что амплитуда колебаний уменьшается всего в 2–3 раза. В холодный сезон скорости течений достигают 25–30 см/с, что почти на порядок превосходит колебания летнего периода, при этом энергия перемешивания зимой на два-три порядка превосходит летнюю.

УДК 550.3

ШТОРМОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ДИНАМИКУ ТЕЧЕНИЙ В ТОЛЩЕ МОРЯ

Амбросимов А.К.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-5190, ambrosimov@ocean.ru

It is shown that the pulsations of hydrostatic pressure induced by the surface waves allow to estimate speed of currents in a near-surface layer during storm, and also to calculate the periods of storms and windows of weather.

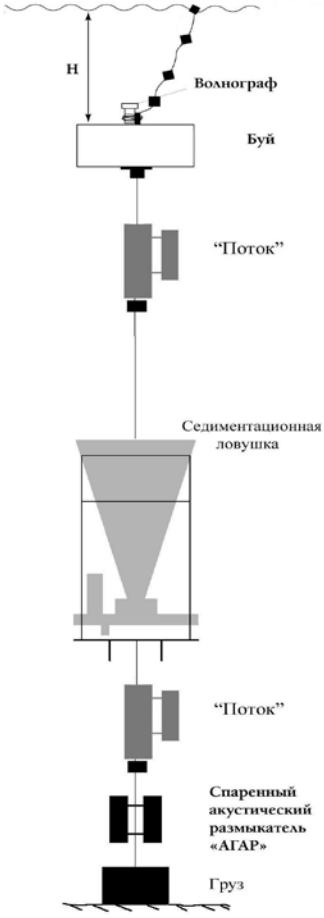


Рис. 1. Схема постановки притопленной буйковой станции

Особую ценность для практических целей представляют данные о штормовых характеристиках. К сожалению, в штормовых условиях очень сложно проводить океанологические наблюдения. Наиболее доступной информацией о штормовых течениях и волнении являются данные наблюдений с притопленных буйковых станций (ПБС). Наряду с данными измерителей течений, ценную информацию о штормах дают волнографы-мареографы, устанавливаемые на ПБС (рис. 1).

На рис. 2 представлены хромограммы изменения температуры, уровня моря и волнения по данным волнографа-мареографа ГМУ-2, установленного на ПБС в центральной части Каспийского моря. На записях видно, что буй, на котором был установлен ГМУ-2 в спокойную погоду, был заглублен под поверхность моря на 8 м. Во время штормов под действием ветра возникает приповерхностное дрейфовое течение, которое в горизонтальном направлении давит на буй. Под действием этой силы буй притапливается, поскольку нижним концом линии он соединен с якорным грузом. Чем сильнее шторм, тем выше скорость дрейфового течения, тем ниже под поверхность моря заглубляется буй. Так в период с 5 по 7 января 2009 г. скорость течения в приповерхностном слое достигала 57 см/с, при этом буй с 8 м заглублялся на 25 м.

Используя зависимость между максимальной скоростью течений на различных горизонтах, полученную экспериментально для данного района в 32-м рейсе НИС «Рифт» и данные максимальных значений течений для горизонта 250 м под буем были сделаны оценки скорости течений в верхнем слое во время штормо-волновых усилений в период 03–12 января 2009 г., которые могли составить 50–60 см/с.

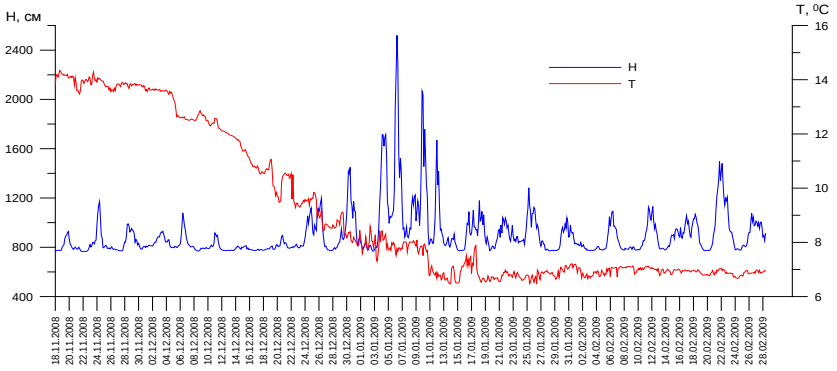


Рис. 2. Хромограммы интенсивности штормов и температуры в зимний период в центральной части Среднего Каспия [29]

На штормовой хромограмме температуры (рис. 2) наблюдаются положительные выбросы, равные нескольким десятым градуса, которые обусловлены вовлечением в процесс перемешивания более теплых нижних подповерхностных вод, т.к. в этот период сверху идет процесс конвективного выхолаживания поверхностных вод.

Расчеты длительностей штормовых усилений и окон погоды относительно уровня волнения в 0,5 м для зимнего периода продолжительностью в 230 суток составили 42% и 58%, соответственно.

На записях ГМУ-2 четко прослеживается пятисуточная периодичность усиления интенсивности штормового волнения, а, следовательно, и поверхностных течений, обусловленных синоптическими условиями для данного региона для зимнего сезона.

На этом же рисунке видно, что поверхностная температура монотонно понижалась до середины января 2009 года и затем до конца февраля она удерживалась на одном уровне около 7 ^{0}C. Это свидетельствует о том, что в период с середины января по февраль в верхнем однородном слое устанавливается баланс теплообмена между атмосферой и морем.

На хромограммах также наблюдается связь между понижением температуры и интенсивностью штормов, которая заметно усилилась при понижении температуры до 7^{0}C.

Движения воды в глубоководных слоях моря играют существенную роль в вентиляции придонных застойных областей моря. Как показали наблюдения, выполненные с помощью измерителей течений установ-

ленных на ПБС, существенную роль в вентиляции придонных областей выполняют мезомасштабные колебания воды, обусловленные синоптической изменчивостью над морем. На хромограммах течений (рис. 3) видно, что мезомасштабные колебания захватывают всю толщу моря от поверхности до дна, при этом форма низкочастотных колебаний с периодом в несколько суток, практически, без изменений передается от поверхности ко дну лишь с той разницей, что амплитуда колебаний уменьшается всего в 2–3 раза. В холодный сезон скорости придонных течений достигают 25–30 см/с, что почти на порядок превосходит скорости летнего периода, при этом энергия перемешивания зимой на два-три порядка превосходит летнюю.

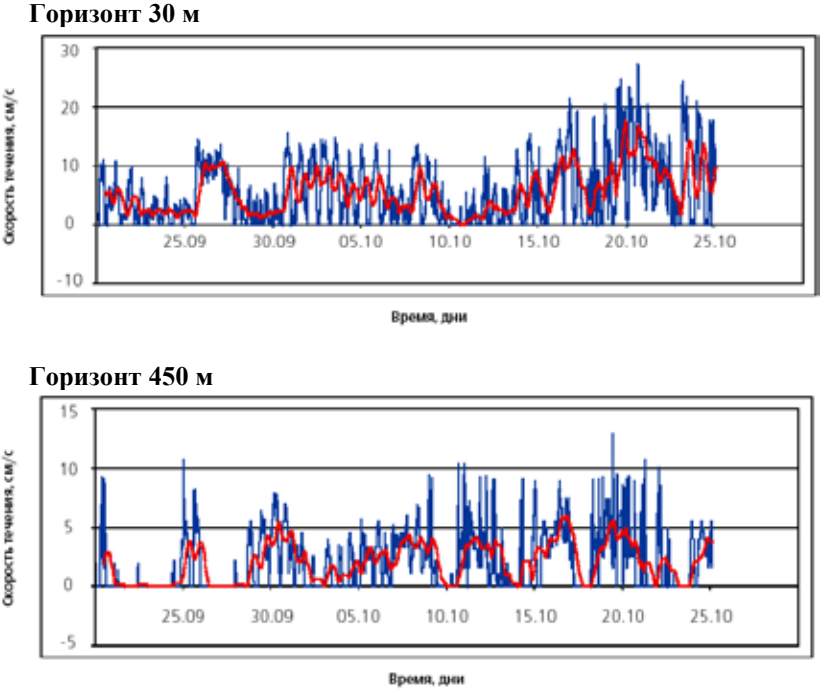


Рис. 3. Хромограммы скорости течений в приповерхностном и придонном горизонтах центральной части Каспийского моря в зимний период

УДК 551.5

ДИНАМИКА ВОД СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО СЕКТОРА СРЕДНЕГО КАСПИЯ

Амбросимов А. К., Клювиткин А. А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-5190, ambrosimov@ocean.ru

New data on dynamics of currents in northeast sector of the Average Caspian Sea are presented in this article. It is shown that in this part of the sea the zone of indignations is observed caused by a overflow of cyclonic circulation on the Peschanomyssky raising and pressure of waters in the Mangyshlaksky threshold.

Циклонический круговорот (ЦК) Среднего Каспия является важнейшим элементом системы Каспийского моря, который обеспечивает тепло- и массообмен и перенос взвешенного материала в различные районы моря. Считалось, что течения в северо-восточной части ЦК соответствуют классической схеме движения вод. Однако наблюдения последних лет показали, что в этом районе моря имеет место зона значительных возмущений течений, образованная взаимодействием круговорота с южным склоном Песчаномысского поднятия (ПМП), Южнобузачинским прогибом и Мангышлакским порогом.

Анализ научной литературы показывает, что существует большой пробел в изучении течений в восточной части Среднего Каспия, влияние которых является определяющим в образовании и развитии апвеллинга, переноса взвешенного материала, нет данных о поступлении вод из Южного Каспия в Средний. Поэтому целью данных исследований является устранение пробелов в изучении динамики течений в северо-восточной части Среднего Каспия, которое крайне необходимо в условиях интенсивного развития нефтегазового комплекса.

Приборы и методы

Измерение течений в экспериментах осуществлялось на стационарных притопленных буйковых станциях (ПБС) с помощью измерителей Поток-М и доплеровских измерителей течений Sontek и DVS, а также при вертикальном зондировании и профилировании течений при буксировках с помощью доплеровских измерителей ADCP. Вертикальное

распределение CTD-параметров на станциях измерялось с помощью CTD-зондирований зондами SBE19+ и Idronaut.

Результаты наблюдений

Исследования, проведенные в районе ПМП, показали, что здесь существует довольно обширная зона возмущений, вызванная взаимодействием циклонического круговорота с довольно крутым южным склоном ПМП. При натекании вод ЦК на ПМП часть потока отбивается поднятием в центральную часть моря, а другая часть переваливает через ПМП и движется в северном направлении. Подъем придонных вод на поднятие сопровождается интенсивным перемешиванием, охлаждением и как следствие – образованием апвеллинга над ПМП. Измерения, выполненные над ПМП в 35-м рейсе НИС «Рифт» (рис. 1), показали высокую изменчивость и перемежаемость течений, а также образование вихревых структур. Выталкивание придонных вод циклонического круговорота на ПМП сопровождается перемешиванием водных масс и разделением потока на ветви, распространяющиеся в разных направлениях – западные, северные и восточные. Как показали наблюдения, после перетекания ПМП холодные воды, вытолкнутые к поверхности, погружаются вдоль северного склона вглубь моря. Турбулизация потока сопровождается взмучиванием и вовлечением взвешенного материала в морскую среду, концентрация которого на порядок превышают концентрацию в других более спокойных частях ЦК. В местах выхода холодных вод на поверхность моря и соприкосновении с теплыми образуются пенные дорожки, которые при наблюдениях служат маркерами холодных фронтов.

Измерения течений, выполненные на притопленной буйковой станции (ПБС-4118, горизонт 280 м) у подножия южного склона ПМП в период с 25.10.2012 по 03.07.2013 г. на горизонтах 295 и 70 м в точке с координатами $42^0$41,311’ с.ш. и $50^0$50,261’ в.д., показали, что придонное течение в этом районе моря (рис. 1а), отбивается поднятием в юго-западном направлении (~ 217^0). Накопленное перемещение воды через придонную точку наблюдений за период 25.10.2012–17.04.2013 гг. составило более 1000 км. Постоянство направления придонного течения в 10 м от дна моря можно объяснить рельефом ПМП в районе постановки ПБС-4118. Средняя скорость течения у дна составила 8,3 см/с – это высокая скорость, а максимальная – 44 см/с. Для придонного течения характерно колебательное усиление и ослабление течения с периодом ~5,5 суток, которое соответствует периоду синоптических возмущений в этом районе моря. В промежуточном слое на горизонте 70 м за период

наблюдений (25.10.2012 – 03.07.2013 гг.) результирующий перенос водных масс соответствовал классической схеме течений ЦК и за 8 месяцев составил более 600 км в северо-западном направлении.

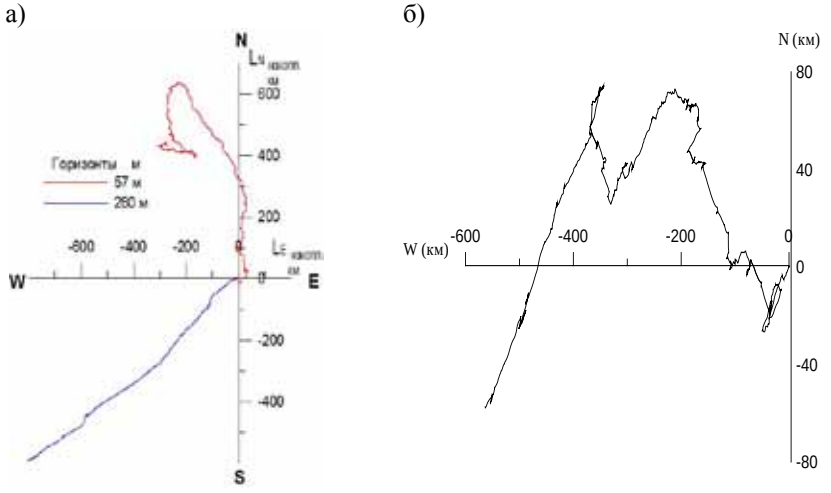


Рис. 1. Прогрессивная диаграмма течений у южного склона Песчаномысского поднятия: а) в точке $42^0$41,311’N; $50^0$50,261’E на глубине 280 м за период с 25.10.2012 по 03.07.2013. б) – в точке $42^0$38,54’N; $50^0$42,18’E на глубине 300 м за период с 03.09.2013 по 10.08.2014.(на расстоянии 12 км на юго-запад от точки «а»)

Средняя скорость течения составила около 5 см/с. Нестационарный характер течений на горизонте 70 м можно объяснить возмущением потока при перетекании его через ПМП. Вертикальный перенос воды направленный вниз на этом горизонте за время наблюдений составил около 800 м. Наиболее интенсивный вертикальный перенос вниз происходил с середины октября по середину января, который возможно связан с охлаждением и конвективным заглублением водных масс. С середины января вертикальный перенос прекратился и с марта начался вновь, но более ослабленный. Вертикальное опускание водных масс может быть также связано здесь с заглублением рельефа дна в северо-западном направлении.

Повторные наблюдения, проведенные в период с 03.09.2013 по 10.08.2014 г. у подножия ПМП в 12 км юго-западнее от точки «а» на

глубине 300 м, показали (рис. 1б), что придонное течение поднятием отводится в центральную часть моря.

В 41-м рейсе НИС «Рифт» в северо-восточном секторе Среднего Каспия были выполнены вертикальные зондирования профилей течений от южного склона ПМП до Мангышлакского порога (рис. 2). Измерения были выполнены с помощью зондирования водной толщи доплеровским измерителем течений ADCP-150. Из рисунка хорошо видно, что поверхностные воды ЦК приходящие с юго-востока к ПМП переваливают через него, а придонные отбиваются поднятием в западном направлении (ст.4118 и 4120). Однако часть тяжелых холодных вод переваливает через поднятие и по северному склону ПМП опускается в юго-восточном направлении (ст. 4121–4123). Поверхностное течение на всех профилях направлено на северо-запад в соответствии с направлением движения вод в ЦК. У Мангышлакского порога на северном склоне Южно-Бузачинского прогиба (ст. 4130) циклонический круговорот упирается в препятствием и течение во всем слое разворачивается в западном направлении.

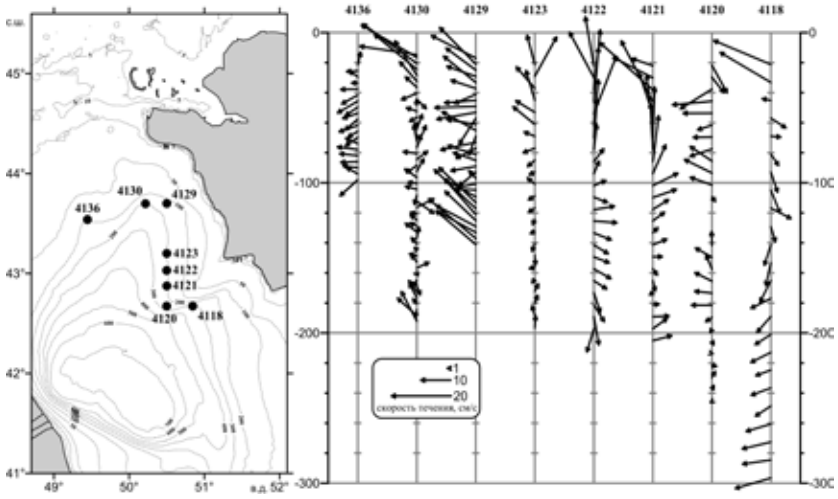


Рис. 2. Профили течений в районе ПМП и над Южно-Бузачинским прогибом в северо-восточном секторе Среднего Каспия

На рис. 3 показаны вертикальные 100-метровые профили течений, полученные в июне 2010 г. и в мае 2012 г. в северо-восточной части

Среднего Каспия при буксировке профилографа течений ADCP-300 в зональном направлении из центра моря к п. Актау. Из рисунков видно, что на профилях наблюдаются разнонаправленные течения. (Направления стрелок на рисунках соответствуют географической ориентации, а вертикальное положение стрелок на рисунке соответствует горизонту наблюдений).

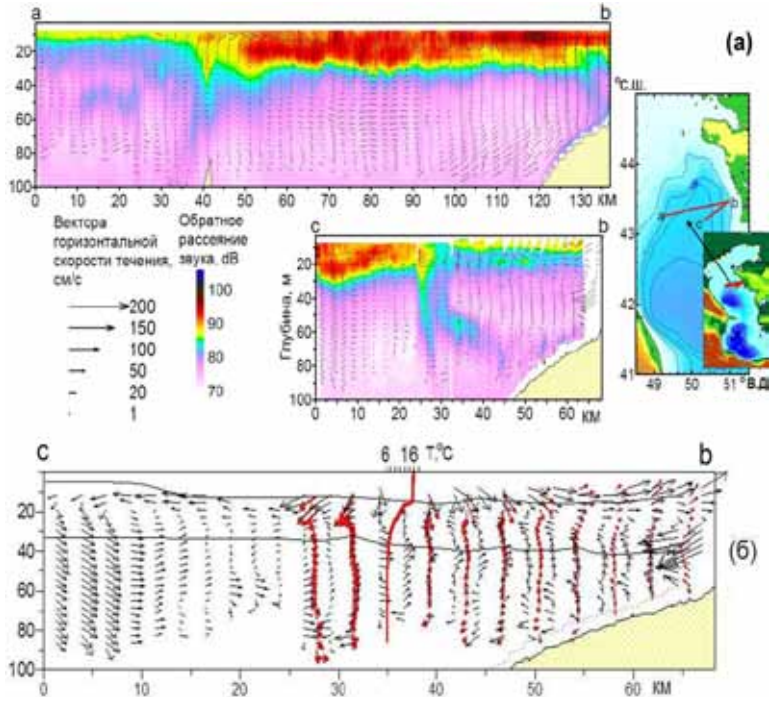


Рис. 3. Широтный разрез от центра моря до восточного шельфа вблизи Актау

В западной части разреза (рис.3а) наблюдаются течения западных направлений со скоростями 5–10 см/с, а в восточной части – скорости 10–20 см/с. северо-восточного направления. При этом более высокими были скорости придонных течений. Совсем другая картина течений наблюдалась при буксировке ADCP в том же районе моря в мае 2012 г. (рис. 3б). По склону течения были направлены на запад, а в глубоководной части – на восток.

Высокая изменчивость течений в этом районе моря обусловлена взаимодействием нескольких факторов: течением циклонического круговорота, ветровым воздействием, высокой изрезанностью профиля дна и препятствиями – в виде ПМП, Южнобузачинского прогиба и Мангышлакского порога. В результате такого взаимодействия над шельфом образуются струйные течения и вихревые структуры.

УДК 551.46

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЬ-НИНЬО – ЛА-НИНЬЯ ДОЛГОПЕРИОДНЫМИ ОКЕАНИЧЕСКИМИ ВОЛНАМИ

Бондаренко А. Л.

Институт водных проблем РАН,
ул. Губкина, д. 3, 119333 Москва, 8-916-025-89-37
albert-bond@mail.ru

Previous studies [1, 2, 3, 5] have established that the El niño–La niña forms due to vertical movements of the waters of long-period waves in the Equatorial region of the Pacific. The author's studies [4] showed that long-period waves of the oceans are rather similar to solitons waves. Waves soliton have cyclonic area of water motion, which is located in the Equatorial region of the ocean and in which water divergence develops accompanied by cold-water rise from the deep ocean. Long-period waves have different amplitudes, providing different magnitudes of cold-water rise, hence different temperature of the ocean surface and development stage of the El niño–La niña.

Поверхностные воды восточной части экваториальной зоны Тихого океана обычно холоднее вод расположенных севернее и южнее этой зоны и составляют 25–26 ºС (рис. 1а, б, в, г). Температура воды севернее и южнее экваториальной зоны равна 28–30 ºС. Иногда возникают условия, когда температура экваториальных вод увеличивается до 29–30 ºС. Такое состояние океана может продолжаться около года и получило название Эль-Ниньо. Часто возникают условия, когда температура поверхностных вод экваториальной зоны океана падает до 20–22 ºС. Такое

состояние океана называется Ла-Нинья. Длится оно 3–5 месяцев и наблюдается один раз в году. Фактически Эль-Ниньо и Ла-Нинья это крайние состояния явления, которое можно назвать: Эль-Ниньо–Ла-Нинья.

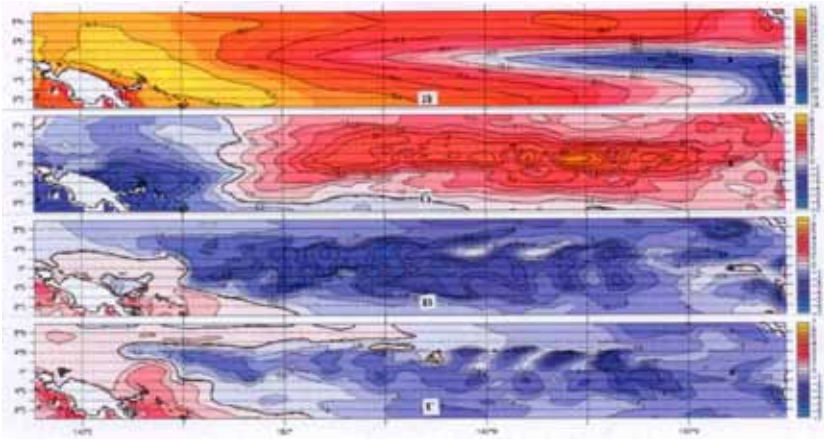


Рис. 1а, б, в, г. Температура (^{0}C) воды экваториальной области Тихого океана от берегов Южной Америки до о. Новая Гвинея на глубине 15 м: а) среднее значение температуры воды за период 1993–2009 гг., б) аномалии температуры воды на время 1997 г. – 09–20, во время сильного Эль – Ниньо, в) аномалии температуры воды на время 2008 г. – 02–10, во время сильного Ла-Нинья, г) аномалии температуры воды на время 2000 г. – 12–10, во время среднего Ла-Нинья
http://www.aviso.oceanobs.com/

Существует несколько гипотез формирования этого явления. Наиболее популярная из них объясняет его так. Состояние Эль-Ниньо возникает в результате переноса тёплых вод из западной части Тихого океана течением Эль-Ниньо, Ла-Нинья возникает в результате переноса холодных вод с южной части Тихого океана течением Ла-Нинья. Авторы [3] путём анализа натурных данных доказали несостоятельность этой и других существующих гипотез формирования явления Эль-Ниньо – Ла-Нинья и предложили своё строго экспериментально обоснованное объяснение. Было установлено, что изменение температуры поверхностных вод океана обусловлено вертикальными движениями вод долгопериодных волн, получивших название экваториальные волны Россби. Была

получена тесная связь параметров волн и температуры океана, являющейся характеристикой состояния явления Эль-Ниньо – Ла-Нинья.

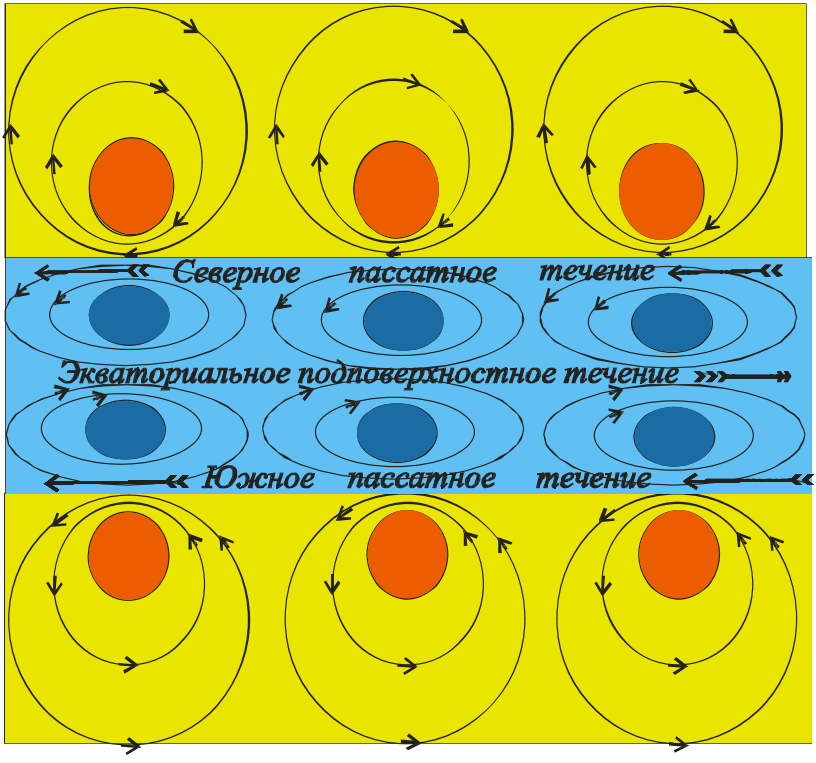


Рис. 2. Линии токов океанических долгопериодных волн, похожих на волны солитоны в виде эллипсов со стрелками (направление силы, создающей течения) в зоне до 35^0 северной и южной широты. Голубым цветом выделена область циклонических движений воды, дивергенции и подъёма на поверхность океана холодных глубинных вод, а желтым – области антициклонических движений воды, конвергенции и опускания на глубину теплых поверхностных вод. Синим цветом, выделены области интенсивного подъёма воды в волнах, а оранжевым – опускания

В этой проблеме многое оставалось неясным. В частности, что собой представляют экваториальные волны Россби, почему они выстраиваются в группы, модулируют с периодом один год и модуляции имеют по-

стоянную фазу. С позиции существующих представлений об экваториальных волнах Россби такое свойство волн объяснить невозможно.

Впоследствии было установлено, что долгопериодные океанические волны, названные волнами Россби по своей кинематике больше похожи на волны солитоны, впервые открытые Джон Скотт Рассел в 1834 г. [4]. Волны обладают свойством распространяться в открытом океане в западном направлении. В центральной части волны линии тока сосредоточены в вертикальной плоскости и вращение частиц воды происходит по эллипсу. В правой и левой части волны образуются вихреподобные движния: циклонической и антициклонической направленности. Всё эти движения получают отображение в температурном поле воды океана.

Можно выделить режимные условия волн Северного полушария и Южного. Границей волн является экватор, своего рода твердая стенка для волн обоих полушарий. На этой границе, экваторе плотность линий токов высокая, соответственно, и скорости течений большие. Так можно объяснить большие скорости течений на экваторе. Можно допустить, что периоды волн в северном и южном полушариях различаются, что и создаёт на границе, экваторе модуляционные движения воды, как результат сложения волн с различными периодами. Отсюда и модуляционное строение течений. Поскольку фаза модуляций не меняется от года к году, то можно допустить, что фазы волн постоянны и волны имеют детерменированный характер.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Бондаренко А. Л., Жмур В. В.** О природе и возможности прогнозирования явления Эль-Ниньо – Ла-Нинья // Метеорология и гидрология. 2004. № 11. С.39-49.

2. **Бондаренко А. Л.** Эль-Ниньо – Ла-Нинья: механизм формирования// Природа. 2006. №5. С. 39 – 47.

3. **Бондаренко А. Л., Серых И. В.** О формировании явления Эль-Ниньо – Ла-Нинья Тихого океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса. 2011. Т.8. №2. С.57–63.

4. **Бондаренко А. Л.** Лето 2010 года: жара в России и наводнения в Пакистане // Наука в России. Март–апрель, 2013. № 2. С.28–31.

http://www.oceanographers.ru/images/stories/pdf/bondarenko_rossby.doc
http://meteoweb.ru/articles/bondarenko_05_2013.pdf

5. **Bondarenko A. L. and Zhmur V. V.** Nature and forecasting possibility of the nino/la nina phenomenon. Russian Meteorology and Hydrology. 2004. № 11. PP.26–35, Meteorologia I Gidrologiya UDC 551.526.6(265-062.5).

УДК 551.465

МОНИТОРИНГ МИРОВОГО ОКЕАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ARGO

Лебедев К. В.

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

Argo profiles variationally interpolated onto a vertical and horizontal grid are combined with the WOA09 climatology for layers below 2000 m and ECMWF winds into an ocean general circulation model to produce the monthly, three-dimensional temperature, salinity, and velocities fields on a global 1´ 1 degree grid.

С 2005 г., измерения с помощью поплавков Argo стали вести на большей части акватории Мирового океана. Заявленного при разработке программы Argo уровня покрытия в 3000 одновременно работающих поплавков (в среднем 1 поплавок на трехградусный «квадрат») достигли в ноябре 2007 г. Сейчас около 3600 поплавков Argo осуществляют автономное зондирование верхней двухкилометровой толщи океана от Антарктики до Шпицбергена с 10 дневным интервалом. Вследствие этого база данных по температуре и солености Мирового океана ежемесячно увеличивается на 10 тыс. полноценных профилей. К этому следует добавить 10 тыс. лагранжевых траекторий, позволяющих оценивать скорости перемещения поплавков во время нахождения на поверхности и на глубине дрейфа, составляющей, как правило, 1000 м [1]. Постоянно пополняющиеся массивы измерений позволяют решать задачи реконструкции и мониторинга состояния океана в режиме, близком к реальному времени, и исследовать особенности океанской динамики и ее изменчивости [2]. Огромное количество профилей, накопленных в рамках программы Argo за период с 2001 по 2015 г. (общее число измеренных профилей превысило 1 млн), позволяет оценить климатическое состояняе Мирового океана в последнее десятилетие и дать оценку текущим внутриклиматическим трендам.

В докладе представлены результаты ведущихся в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН) работ по созданию новых, ориентированных на конечных пользователей массивов АМИГО (Арго-

Модель Исследования Глобального Океана), основанных на измерениях Argo и данных спутниковой альтиметрии. Массивы АМИГО обеспечат научное сообщество доступом в режиме близком к реальному времени к глобальным унифицированным базам данных, полученным по измеренным профилям и траекториям поплаков Argo с привлечением дополнительных данных, сделанных с помощью спутников [3]. Главное отличие этого проекта от работ в данном направлении зарубежных коллег состоит в комбинировании данных Argo с климатическими полями (районы отсутствия измерений и глубины более 2 км) и использование при их обработке вариационной методики интерполяции измерений [4] на регулярную сетку с последующей модельной гидродинамической адаптацией полученных полей. Такая методика позволяет получать по данным профилирования Argo полный набор океанографических характеристик: температуру, соленость, плотность и скорость течений. Выполненные расчеты охватывают 10-летний период с 2005 по 2014 годы и представлены ежемесячными, сезонными, годовыми и среднеклиматическими полями.

АМИГО находится в свободном доступе в сети Интернет на официальном сервере Института океанологии. Пространственное разрешение данных в базе составляет 1 градус по долготе и широте, временное – 1 месяц, 10 суток и 1 неделя. Созданное программное обеспечение позволяет в режиме близком к реальному времени проводить обновление данных по мере поступления новых измерений по программе Арго.

Исследователям предлагаются как проинтерполированные по вертикали на стандартные горизонты и изопикнические уровни вертикальные профили, так и поля характеристик и их производных, осредненных по ячейкам 1′ 1° и 3′ 3° регулярной сетки. Доступны также данные по абсолютной динамической глубине, полученные с использованием спутниковой альтиметрии, что позволяет делать расчеты геострофической компоненты скорости течений. Приводится разнообразная статистика и климатологические характеристики. Создана база данных, описывающая верхний перемешанный слой океана.

Эффективность предложенной методики вариационной интерполяции данных Арго с последующей модельной адаптацией проиллюстрирована на примере районов течения Куросио (рис. 1, 2). В процессе модельной адаптации происходит гидродинамическое согласование полей температуры, солености и течений между собой и с рельефом дна и граничными условиями.

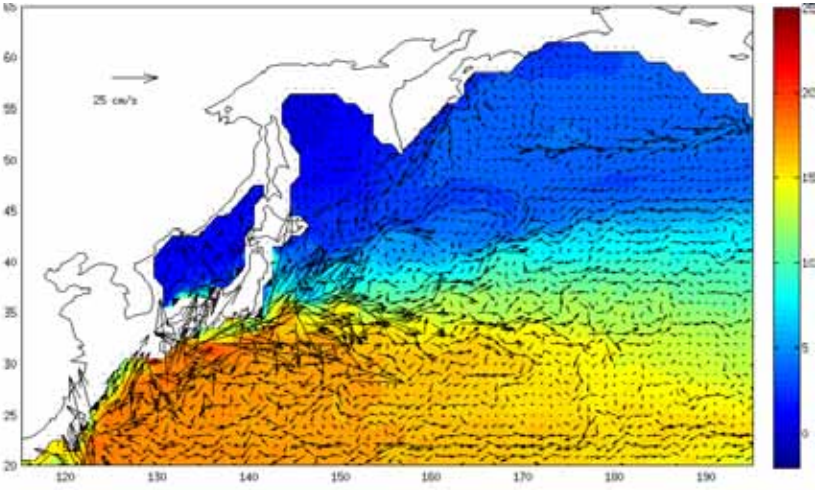


Рис. 1. Среднеклиматические поля температуры и течений Северной Пацифики на горизонте 250 м, полученные в результате модельной адаптации данных Арго

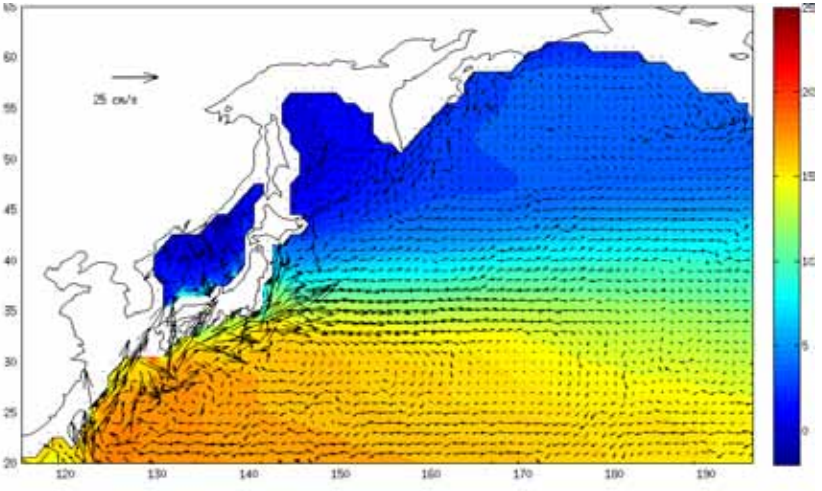


Рис. 2. Поля температуры и течений Северной Пацифики на горизонте 250 м, полученные в результате модельной адаптации данных климатических массивов Левитуса

Указанный подход позволяет восстановить трехмерное поле скорости как для районов, обеспеченных наблюдениями, так и в прибрежной области, где данные Арго практически отстутствуют. Это имеет принципиальное значение при описании характеристик западных пограничных течений (рис. 1). На рисунке 2 приведен аналогичный расчет, выполненный с использованием стандартных климатических массивов Левитуса. Сравнение рисунков 1 и 2 показывает, что использование данных Арго заметно повышает детализацию и реалистичность циркуляции Куросио. Выполненные расчеты показали, что предложенная методика модельных расчетов океанографических характеристик Мирового океана с использованием данных Арго позволяет существенно улучшить климатические поля температуры, солености и течений.

По результатам численного моделирования представлены основные показательные характеристики климата Мирового океана по данным поплавков Арго: расходы основных течений, интегральные меридиональные переносы тепла, солей и массы, теплосолесодержание верхнего деятельного слоя, их сезонная и внутридекадная изменчивость.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты № 13-05-00679 и 13–05–00972) и гранта РНФ для научных организаций № 14-50-00095.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Lebedev K. V., Yoshinari H., Maximenko N.A., Hacker P. W.** YoMaHa'07: Velocity Data Assessed from Trajectories of Argo Floats at Parking Level and at the Sea Surface. Honolulu (HI): IPRC Techn. Note №4 (2). 2007. 16 p.

2. **Sasaki Y., Schneider N., Maximenko N., Lebedev K.** Observational evidence for propagation of decadal spiciness anomalies in the North Pacific // Geophys. Res. Lett. 2010. V. 37. L07708.

3. **Lebedev K.V., DeCarlo S., Hacker P.W., Maximenko N.A., Potemra J.T., Shen Y.** Argo Products at the Asia-Pacific Data-Research Center // EOS Trans. AGU. 2010. V. 91. No 26. Ocean Sci. Meet. Suppl. Abstract IT25A 01.

4. **Курносова М. О., Лебедев К. В.** Исследование изменчивости переносов в системе Куросио на 35° с.ш., 147° в.д. по данным поплавков Арго и спутниковой альтиметрии // Докл. АН. 2014. Т. 458. №2. С. 225–228.

УДК 551.46

О ПОГРЕШНОСТЯХ ИЗМЕРЕНИЯ ВОЛНОВЫХ ТЕЧЕНИЙ МИРОВОГО ОКЕАНА

Бондаренко А. Л.

Институт водных проблем РАН,
ул. Губкина, д. 3, 119333 Москва, 8-916-025-89-37
albert-bond@mail.ru

Presented research showin that the currents of long period waves fundamentally different from the gradient and drift current, and in this case the accepted methods of measurement do not provide a representative to obtain information about them. Researchers use this information frequently get misconception about the currents of long-waves.

В работе [1] была получена зависимость: $V_{ср} \sim 0{,}5V_0$ (1). Здесь $V_{ср}$ – скорость крупномасштабного течения, V_0 – амплитуда колебания долгопериодных волн. Исследования показывают, что эти долгопериодные волны следует отнести к волнам солитонам [2].

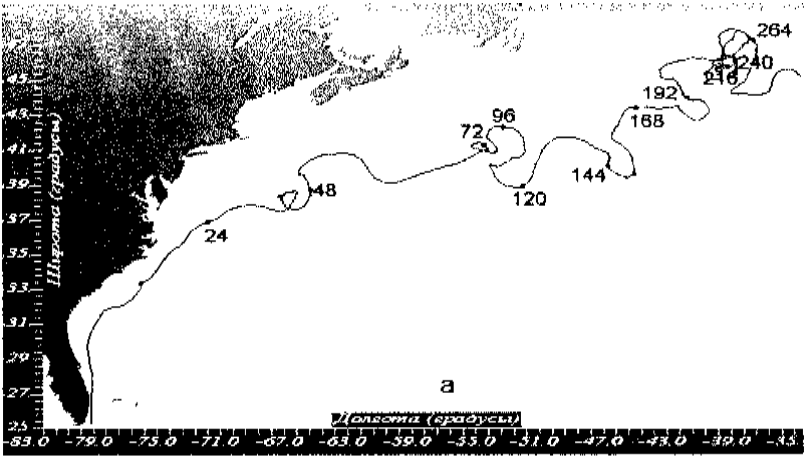


Рис. 1. Трасса дрифтера, запущенного в воды Гольфстрима. Числа около точек – время движения дрифтера в сутках с момента его запуска

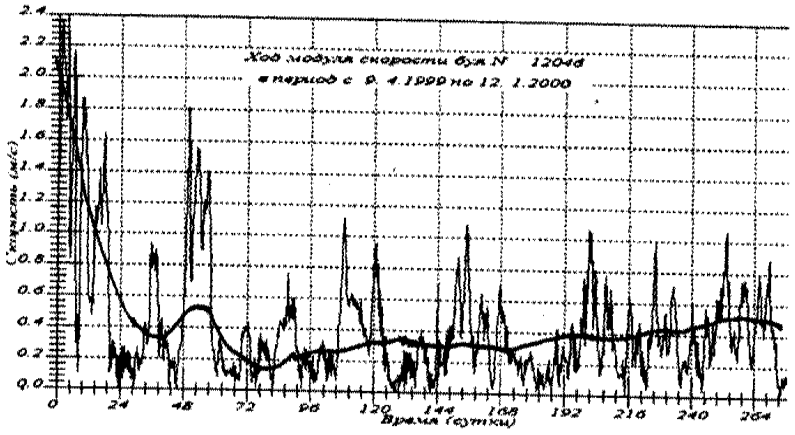


Рис. 2. Модуль скорости движения дрифтера, трасса которого изображена на рис. 1. Сплошная плавная линия – скорость крупномасштабного течения, Гольфстрима

На рис. 3 изображены линии токов долгопериодных волн солитонов. Если регистрировать течения волн солитонов (рис. 3а) дрифтером или стационарно установленным прибором, то получим “запись” модуля скорости течения в виде кривой, изображённой на рис. 3в. Тогда получим зависимость (1). Но здесь $V_{ср}$ равна средней скорости модуля течения в волнах.

Отсюда можно сделать вывод, что в зависимости (1) скорость крупномасштабного течения, полученная путём фильтрации измерений равна нулю. Фактически регистрируется не скорость крупномасштабного течения, а средняя величина измеренных волновых течений.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Бондаренко А. Л., Жмур В. В., Филиппов Ю. Г., Щевьев В. А.** О переносе масс воды морскими и океанскими долгопериодными волнами // Морской гидрофизический журнал. Севастополь. 2004. № 5 (сентябрь – октябрь). С. 24-34.

2. **Бондаренко А. Л.** Лето 2010 года: жара в России и наводнения в Пакистане// Наука в России. март-апрель, № 2. 2013а. С.28–31.

http://www.oceanographers.ru/images/stories/pdf/bondarenko_rossby.doc

http://meteoweb.ru/articles/bondarenko_05_2013.pdf

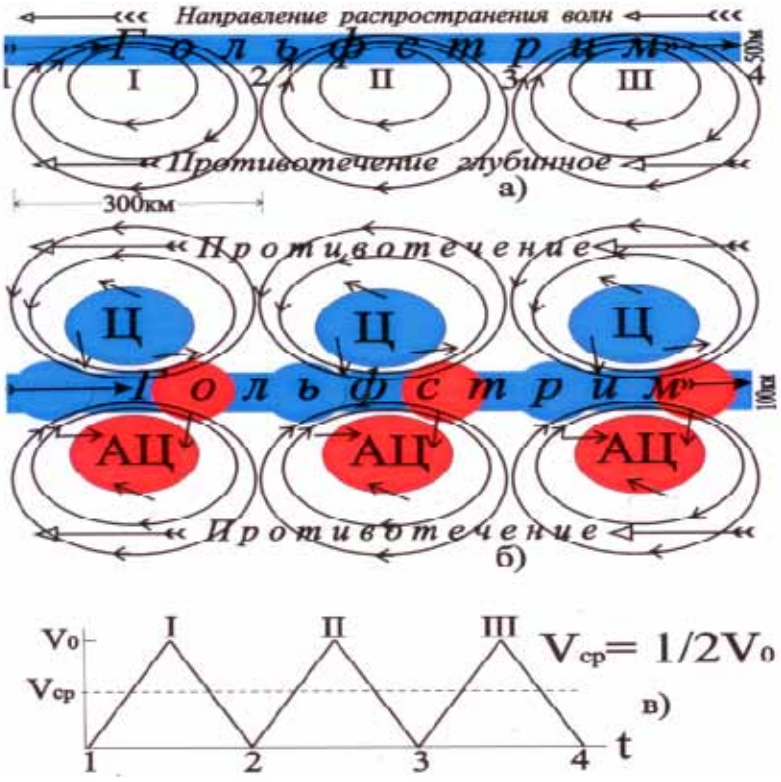


Рис. 3. Линии тока в виде эллипсов долгопериодных волн, волн солитонов в вертикальной плоскости, проходящей через Гольфстрим, что одно и то же, через центр волн (а) и в горизонтальной плоскости у поверхности воды (б). Стрелки на линиях тока – направление силы, воздействующей на частицы воды, что одно и 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. в) Модуль скорости течения, измеренного стационарно установленным прибором у поверхности воды или дрифтером в моменты времени прохождения через них частей волн I, II, III, и т.д., 1, 2, 3, 4 и т.д., V_o – амплитуда модуля скорости течения волны, $V_{ср}$ – модуль средней скорости течения волны, t – время (а)

ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБИДИТНЫХ ТЕЧЕНИЙ НА НАКЛОННОМ ДНЕ

Петрига А. А., Зацепин А. Г., Мельникова О. Е.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова, Российская академия наук,
117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36.,
тел.: +7(499)124-63-92, факс:+7(499)124-59-83.
E-mail: apetriga@yandex.ru

Dynamics of turbidity flow (TF) in the ambient fresh water was studied in tilted laboratory tank. It has been found, that turbidity flow spreads down the slope as a gravity current with nearly constant velocity, if the particles hydraulic size is rather small. The existence of the intermediate asymptotic of TF propagation down a slope in self-similar mode was revealed as a result of laboratory experiment.

Турбидитные потоки – разновидность придонных гравитационных, или плотностных течений (ППТ), избыточная плотность в которых в значительной степени определяется содержанием взвеси. Несмотря на достаточно широкий диапазон изменчивости масштабов, и других параметров ППТ в природных условиях, закономерности их динамики, можно изучать в лабораторных условиях [3]. В данной работе приводятся результаты лабораторных экспериментов по исследованию закономерностей распространения вниз по наклонному дну пресноводных турбидитных ППТ в пресной воде и пресноводных турбидитных ППТ в соленой воде. Обсуждается возможность использовать эти закономерности для описания турбидитных ППТ в природных условиях.

Эксперимент проводился на установке, схематически представленной на рис. 1. Перед проведением каждого опыта бассейн наполняется дистиллированной водой. В начале опыта производится импульсный впрыск в верхнюю часть бассейна заданного объема взвесесодержащей дистиллированной воды. За счёт содержания взвешенного вещества (частицы спитого кофе, плотность которых составляет $1{,}25 \pm 0{,}03$ г/см^3), впрыснутая суспензия имеет плотность большую, по сравнению плотностью воды в бассейне. Вследствие этого формируется ППТ, распространяющееся вниз по наклонному дну бассейна. Постепенно происходит выпадение взвеси в осадок, вследствие чего плотность воды в ППТ уменьшается. Задача эксперимента – выявить зависимость скорости

движения и дальности распространения ППТ от объема впрыснутой суспензии, концентрации взвешенного вещества и его гидравлической крупности в первоначальной суспензии.

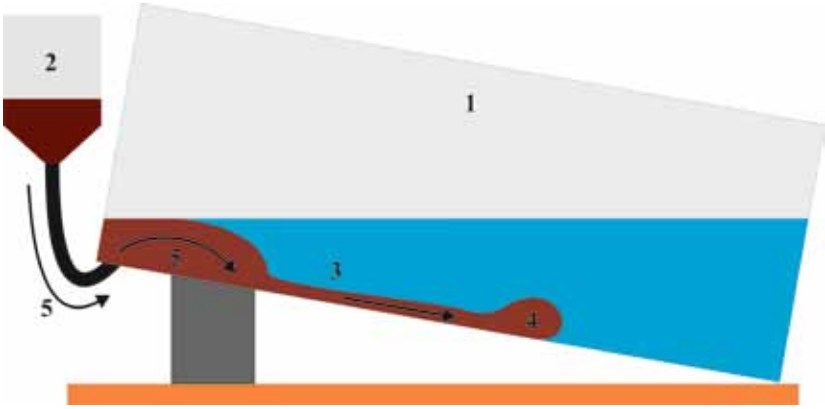


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – бассейн из оргстекла, 2 – резервуар для подачи взвесесодержащей дистиллированной воды, 3 – турбидитный поток, 4 – голова потока, 5 – траектория потока

На стадии сформировавшегося ППТ проявлялись различия между течениями с разными начальными параметрами. В турбидитных потоках, содержащих частицы большой крупности (d=0,5–1,0 мм), взвесь осаждалась достаточно быстро, и, после короткой стадии разгона, поток постепенно замедлялся и останавливался, не достигнув противоположной стенки бассейна. При небольшой крупности частиц (d=0,1–0,25 мм) поток распространялся квазиравномерно почти до противоположной торцевой стенки бассейна (рис. 2).

Используя теорию размерности и физические представления о влиянии различных факторов на двумерный турбидитный поток, характерную скорость его распространения в пресной воде на наклонном дне в некотором диапазоне изменения внешних параметров можно представить в автомодельном виде:

$$v = C_{\text{j}} (\text{j} + \text{j}_0) \qquad (1)$$

где $\text{j} = (\Sigma^{1/2} g' \sin\alpha)/\omega$, а C_φ и φ_0 – некие константы, которые определяют из эксперимента, Σ – площадь турбулентного суспензионного пятна в бассейне перед образованием придонного турбидитного течения (см^2),

$g' = g'_0\Sigma_0/\Sigma$ – редуцированное ускорение силы тяжести в турбулентном суспензионном пятне (см/с^2). Здесь$\Sigma_0 = 75$ см^2 – отношение объёма впрыскиваемой в бассейн суспензии к ширине бассейна (площадь пятна, которое образовала бы суспензия, если бы она не перемешиваясь с окружающей водой в бассейне), $g'_0 = g\Delta\rho/\rho_c$ – редуцированное ускорение силы тяжести для суспензии, до ее перемешанния с окружающей водой в бассейне, g – ускорение силы тяжести, ρ_c – плотность суспензии, $\Delta\rho$ – разница плотностей суспензии и воды в бассейнеα – угол наклона дна (°), ω – гидравлическая крупность частиц см/с). Гидравлическая крупность частиц ω (см/с) рассчитывалась по эмпирическим формулам А. В. Караушева.

Рис. 2. Движение турбидитного потока по дну бассейна (угол наклона бассейна – 10°, концентрация взвешенного вещества в суспензии – 50 г/кг, плотность взвеси – 1,25 г/см^3, гидравлическая крупность частиц – 0,0029 см/с)

На основе обработки данных видеосъемки, для опытов в которых гидравлическая крупность взвеси была не слишком большой, и течение распространялось на значительное расстояние, были построены зависимости максимальной (в каждом опыте) скорости головы турбидитного потока от функции j (рис. 3).

Из рис. 3 видно, что автомодельная зависимость (1) хорошо описывает максимальную скорость распространения головы пресноводного турбидитного течения на наклонном дне в окружающей пресной воде. При этом $\varphi_0 = 4{,}8$, $C_\varphi = 0{,}11$, а φ_0 следует рассматривать как некоторое начальное значение функции.

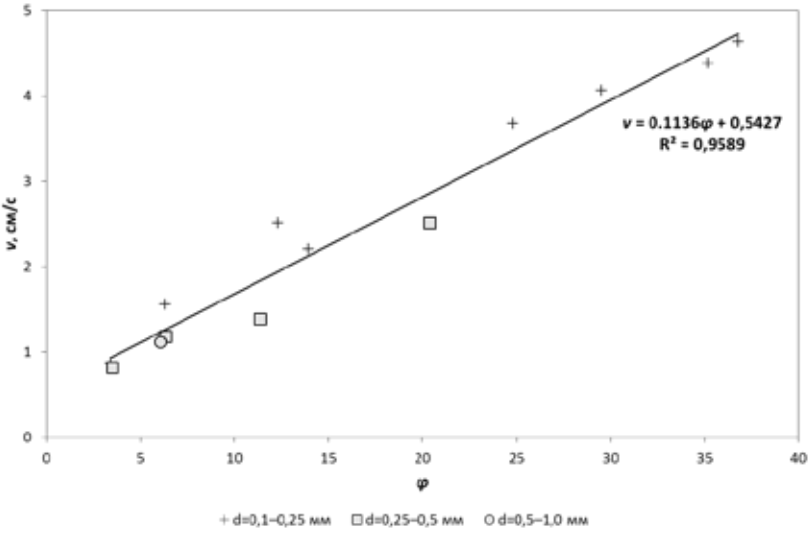


Рис. 3. Автомодельная зависимость скорости распространения пресноводного турбидитного ППТ в пресной воде от функции φ

Вместе с тем, диапазон изменения безразмерных параметров задачи – $Re = \Sigma^{3/4}(g'\sin\alpha)^{1/2}/\nu$, $\theta = \Sigma^{1/4}(g'\sin\alpha)^{1/4}/\omega$ (от которых, в предположении полной автомодельности процесса, предполагалось отсутствие всякой зависимости) в лабораторном эксперименте был сравнительно небольшим и, главное, значения этих параметров были на несколько порядков меньше, чем в природных условиях. Поэтому, применимость автомодельной зависимости (1) к природным турбидитным ППТ находится под вопросом.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ №14-50-00095.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Петрига А. А., Зацепин А. Г.** Лабораторное исследование распространения турбидитного потока по наклонному дну // Проблемы региональной экологии. – 2014. – №2. – С. 166–170.

УДК 551.464.32

ПАРАМЕТР $\delta^{18}O$ КАК ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ ТРАССЕР РАСПРЕСНЕННЫХ ВОДНЫХ МАСС

Семерюк И. А., Намятов А. А.

ГНЦ РФ Арктический и Антарктический научно–исследовательский институт, ул. Беринга, 38, 199397, г. Санкт-Петербург, 8 (812) 337-31-84, Irinasemeryuk@aari.ru

Water masses in the Fram Strait and on the self of the Barents Sea have similar temperature and salinity characteristics but different isotope content due to different reasons of salinity decrease. It might be explained by fresh water input as result of Greenland glaciers melting, on the other hand surface salinity decrease could happened during the process on sea-ice melting. Due to isotope-tracer method it is possible to make quantity description of the main fresh water members of the water balance for the region plying key role in formation of the Arctic Ocean thermohaline structure.

Введение

В проливе Фрама и на шельфе Баренцева моря, акватории которых являются ключевыми районами в формировании ледово-гидрологического режима СЛО, происходит трансформация атлантических водных масс в результате процессов взаимодействия океан–атмосфера, опреснения в результате таяния морского льда в летний период и поступления речного стока или талых вод от ледников Гренландии, а также перемешивания с поверхностными арктическими водами, поступающими в пролив Фрама из Арктического бассейна.

Изотопный метод выделения водных масс позволяет разделить воды с близкой соленостью по типу их образования.

В работе получены оценки фракций различных водных масс исследуемого района. Дана детальная характеристика фракционного состава атлантических вод, вод, модифицированных в процессе таяния морского льда, и вод распресненных речным стоком или таянием ледника. Таким образом, изотопный метод трассирования водных масс дает возможность количественно охарактеризовать главные составляющие пресноводного баланса для ключевого района в формировании термохалинной структуры СЛО.

Используемые материалы и методы расчета

В работе были использованы данные, опубликованной на сайте NASA [http://data.giss.nasa.gov/o18data/], включающие в себя величины температуры, солености и данные определения $\delta^{18}O$. Выборка была произведена для района пролива Фрама, включая Норвежское, Гренландское и Баренцево моря в период с 1972 по 2008 год с мая по сентябрь включительно.

Изотопный метод трассирования водных масс включает в себя количественный, заключающийся в расчете фракций составляющих водную массу, и качественный подход, использующий возможность идентификации фракций при помощи диаграмм «изотоп кислорода – соленость» ($\delta^{18}O$–S) [1, 2].

Результаты

Для всех данных поверхностного слоя 2–10 м были построены $\delta^{18}O$–*S* и *T*-*S*–диаграммы. Как видно из рис. 1, положение водных масс, трансформированных речным стоком (или таянием ледника) и таянием морского льда на *T*-*S*–диаграммах совпадают или находятся в одном диапазоне изменений температурно-соленосных характеристик.

Выводы

По данным наблюдений летом (май-сентябрь) 1972–1989, 1990–1999, 2000–2008 гг. в районе пролива Фрама, включающего области Норвежского, Гренландского и Баренцева морей, используя качественный и количественный подходы изотопного метода, основанного на исследовании соотношения содержания изотопов ^{16}O и ^{18}O, была выполнена идентификация источников распреснения поверхностных вод. При рассмотрении водных масс пролива Фрама и шельфа Баренцева моря было выявлено, что уменьшение солености вод имеет различные причины. В первом случае, причиной распреснения является поступление вод в результате таяния гренландских ледников во фьёрдах Индепенденс (Independence fjord) и Денмарк (Denmark fjord), во втором распреснение происходит в процессе таяния морского льда. В акватории Стур-фьерда арх. Шпицберген пресноводный сток от таяния ледников на Шпицбергене фактически не оказывает влияние на величины распреснения поверхностного слоя морских вод. Основным источником распреснения являются воды образованные от таяния морского льда.

Таким образом, изотопный метод позволяет разделить воды с близкой соленостью по типу их образования.

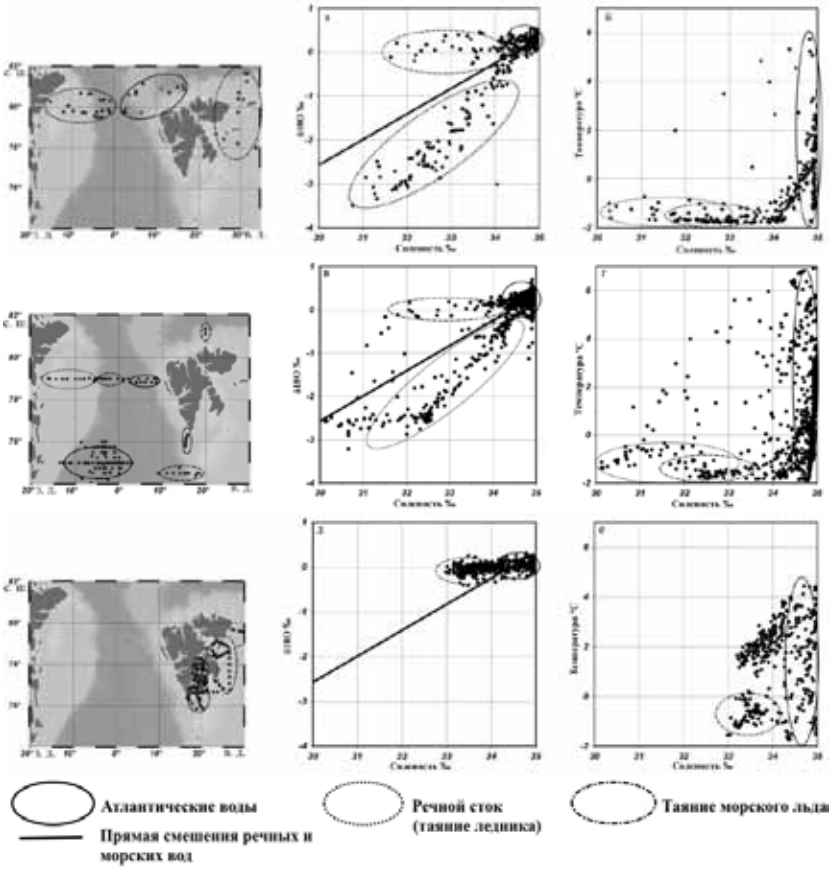


Рис. 1. Диаграммы $\delta^{18}O$ – соленость (а, в, д) и *T*–*S* (б, г, е) для трех групп данных: пролив Фрама – Баренцево море (1972–1989) (а, б), Норвежское – Гренландское моря (1990–1999) (в, г) и Восточно-Шпицбергенское течение – Стур-фьерд (2000–2008) (д, е). На диаграммах $\delta^{18}O$ – соленость (а, в, д) изображена прямая смешения речных и морских вод, построенная по координатам (–20:0) и (0,3:34,94). Эллиптическими фигурами обозначены разные водные массы: сплошная линия – атлантические воды, пунктирная линия – речной сток (таяние ледника), штрихпунктирная линия – воды, образовавшиеся в результате таяния морского льда

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Намятов А. А.** Применение параметра $\delta^{18}O$ для анализа происхождения водных масс на примере моря Лаптевых // А. А. Намятов, И. А. Семерюк // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2013. – №4 (98). – С. 35–42.

2. **Bauch D.** Freshwater balance and the sources of deep and bottom waters in the Arctic Ocean inferred from the distribution of $H_2{}^{18}O$ // D. Bauch, P. Schlosser, R. F. Fairbank // Progress in Oceanography. – 1995. – №35. – P. 53–80.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ МИРОВОГО ОКЕАНА

Горлов А. А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)129 19 90,
oceangorlov@yahoo.com

The report provides an analysis of the level of the modern development of renewable thermal energy of the oceans as for to ensure the long-term autonomous researches, and also for the commercial reclaiming his resources for low and high latitudes.

В докладе дается анализ уровня современного развития возобновляемых источников тепловой энергии Мирового океана, как для обеспечения автономных долговременных исследований, так и для коммерческого освоения его ресурсов для низких и высоких широт.

Микроэнергетика океана. Возобновляемые ресурсы энергии Мирового океана, в сочетании с новейшими разработками в области измерительной техники, микроэлектроники, гидроакустики и коммуникационных технологий, а также специализированного программного обеспечения позволяют создавать *уникальные многофункциональные автономные средства океанологических исследований и обеспечить полную автоматизацию долговременных (до нескольких лет) наблюдений, сбора и обработки информации.* Дальнейшее развитие нашей концепции «микроэнергетики океана» предлагается в виде автоматической распределенной системы океанологических исследований с энергообеспечением всех ее основных элементов от комбинации различных возобновляемых

источников энергии океана (АСОИ ЭО), и в первую очередь, тепловой энергии океана [1]. Такой подход позволяет *существенно повысить качество и количество непрерывно получаемой информации, а также во многих случаях отказаться от использования научно-исследовательских судов, что обеспечит в масштабе страны большую экономию экспедиционных расходов, особенно на топливо*. Нами проводятся поисковые исследования материалов с различными необходимыми физическими эффектами для новейших накопителей и преобразователей тепловой энергии в электричество мощностью до 20 Вт с использованием температурного градиента для автономного мобильного микропроцессорного океанологического зонда. Следует отметить, что Океанографическим институтом Вудс – Холла (WHOI) ещё в 2008 году был создан тепловой глайдер "SLOCUM», а в Океанографическом институте Скриппса был разработан исследовательский зонд "SOLO-TREC", также работающие за счет разницы температур на поверхности и в океанских глубинах. В РФ таких *аппаратов пока нет*.

Преобразование тепловой энергии океана в электричество. Тепловая энергетика океана в тропиках является *наиболее перспективной* для второго и третьего уровней мощности АСОИ ЭО и для крупных океанских электростанций мощностью от 5 МВт до 100 МВт [2]. Разрабатываются различные тепловые схемы OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) – замкнутого и открытого цикла, гибридные, цикла Калины, цикла Уэхары и т. п. Для преобразования тепловой энергии в электрическую используется температурный градиент между теплыми поверхностными и холодными водами с глубины около 900 м, которые по трубам подаются к станции Максимальный коэффициент эффективности OTEC до сих пор не превышает 3 %. Поэтому *основной задачей* фундаментальных и поисковых исследований по развитию таких технологий является повышение э*ффективности* установок за счет совершенствования теплообменников и других основных элементов, снижения собственных затрат, разработки экономичных способов создания и размещения в океане трубопроводов холодной воды, а также океанологические и экологические исследования. В подобных поисковых работах уже более 40 лет участвует ряд зарубежных организаций. В 2013 г. концерном Lockhid Martin (США) было подписано соглашение о создании к 2017 г. на юге Китая коммерческой плавучей OTEC мощностью 10 МВт. Помимо электроэнергии, OTEC позволяют производить из океанской воды большие объёмы пресной воды и водорода. В последние два года начаты проекты создания плавучих OTEC мощностью от 10 МВт до 100 МВт около острова Гавайи, в водах Пуэрто-Рико, у острова Диего-

Гарсия, возле Маршалловых и Багамских островов, у острова Гуам, в водах острова Реюньон, острова Таити и острова Мартиника. В работах по ОТЕС участвуют также ученые Японии, Южной Кореи, Нидерландов, Швеции, Норвегии, Великобритании, Бельгии, Италии, Малайзии, Филиппин. К технологиям ОТЕС проявляют интерес Фиджи, Занзибар, Кюросао, Верджинские острова и ряд стран Африки [3]. В СССР в НИР по ОТЕС участвовали ИПМТ ДВО АН СССР, ИО АНСССР и другие организации, но в современной России такие исследования *прекратились и не проводятся до сих пор*. Однако ревизия материалов работ прошлых лет может обеспечить сегодня в нашей стране начальный задел для фундаментальных и поисковых исследований [4].

Тепловая энергия океана высоких широт – прорывные перспективные технологии. В Арктике разность температур определяется относительно теплой подледной водой и морозным наружным воздухом, достигающим зимой во многих районах Арктики 50 градусов Цельсия. Нами проводятся поисковые исследования по созданию автономного маломощного преобразователя тепловой энергии океана на плавучей льдоустойчивой платформе для долговременных исследований в Арктике. Крупные АОТЕС целесообразно использовать для энергоснабжения удаленных объектов и развития инфраструктуры Арктики. В советское время в НИР по технологиям АОТЕС участвовали ИПМТ ДВО АН СССР, ИО АН СССР и другие организации. Были начаты исследования различные схемы работы АОТЕС: с наличием паровой или гидравлической турбины или с её отсутствием; с различными рабочими жидкостями, в том числе и смешиваемых с водой; на основе веществ с фазовыми переходами; на базе эффекта памяти формы материалов; комбинированные преобразователи, например, с фазовым переходом и прямым преобразованием и многие другие [5]. Зарубежные *достижения* в области развития ОТЕС позволяют, несмотря на многие недостатки АОТЕС, *более оптимистично оценивать возможности их создания и внедрения в России, особенно учитывая больший температурный перепад и отсутствие необходимости дорогостоящего глубоководного трубопровода*. В современной России работы по АОТЕС *не проводятся до сих пор*. Однако ревизия оставшихся материалов работ прошлых лет может обеспечить сегодня начальный научно-технический задел.

Тепловая энергия дна океана и гидротермальных выходов – прорывные перспективные технологии. При оценке тепловых ресурсов Мирового океана гидротермальные системы являются особым и мало изученным направлением, связанным с большими масштабами гидротермальной активности глобальной системы срединных океанских

хребтов на океанском дне общей длиной около 80 тыс. км. Часто температура горячих «факелов» гидротерм достигает 350 градусов Цельсия, а совсем рядом температура окружающей воды не превышает 2 градусов. Интересно отметить, что подобные гидротермальные выходы недавно найдены и на дне Северного Ледовитого океана. Впервые в мировой практике ИО АН СССР совместно с МЭИ и другими организациями начали поисковые исследования и лабораторные испытания макетов подводных энергетических блоков малой мощности, использующих тепло дна океана для электроснабжения долговременных океанологических донных обсерваторий [6]. Для создания подводных энергоблоков большей мощности для энергоснабжения донных узловых модулей системы АСОИ ЭО или для долговременных средств разведки и добычи месторождений сульфидных руд, потребуется использование турбогенераторных преобразователей (ТГП). С этой целью нами были проведены совместно с организациями-соисполнителями поисковые исследования, разработка и исследование математических моделей различных тепловых схем ТГП. Также было начато создание лабораторного макета автономного подводного блока ТГП с использованием анаэробного цикла Ренкина с выходной мощностью генератора 1,5 кВт. Работы были *прекращены в 1992 году*. В мировой практике аналога нашим проектам подводных тепловых преобразователей *до сих пор нет.*

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Горлов А. А., Серых В. Я.** Автономные средства океанологических исследований на базе тепловой энергии. Материалы X111 международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований». ИОРАН, 2013.

2. **Gorlov A. A.** Temperature differences in the ocean at low latitude and between sea and river water and air at high latitude. Electronic Encyclopedia of life support systems (EOLSS), Ocean Energy, London, UK, www.eolss.net, 2004.

3. **Горлов А. А.** Тепловая энергетика океана. Деловой журнал «Энергополис». М., 2014. № 4 (80). С.64–67.

4. **Gorlov A. A.** Russian experience in the ocean energy projects. Proceedings of the International OTEC/DOWA Conference, Imari, Japan, 1999.

5. **Акуличев В. А., Ильин А. К.** Возобновляемые энергетические ресурсы океана. Труды Тихоокеанского института ДВО РАИ, 1987.

6. **Горлов А. А.** и др. Энергетическая установка преобразования тепла донных гидротермальных источников. / В сб. «Материалы 3-ей Всесоюзной конференции по энергетике океана». Ч. 1. ДВО АН СССР Владивосток, 1990.

УДК 551.46.083

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ СКОРОСТИ ЗВУКА

Губин Н. А.[1], Ченский Д. А.[2], Ченский А. Г.[3]

[1] ФГБОУ ВПО ИрГТУ ул. Лермонтова, 83,664074, г. Иркутск, 89021779818, skb@istu.edu
[2]ФГБОУ ВПО ИрГТУ ул. Лермонтова, 83,664074, г. Иркутск, 405281, zavmts@istu.edu
[3] ФГБОУ ВПО ИрГТУ ул. Лермонтова, 83,664074, г. Иркутск, 89086425656, skb@istu.edu

The paper discusses the process of creating laboratory stand to calibrate measuring instruments the speed of sound through the use of equipment «cDAQ» company National Instruments, together with equipment from Sea-Bird and Valeport.

В докладе представлены результаты работы по созданию лабораторного стенда для калибровки измерителей скорости звука в водной среде.

Во время проведения различного рода гидрографических работ, для определения расстояния до объектов необходимо с высокой точностью знать значение скорости звука. Скорость распространения звука в воде может меняться в зависимости от гидрофизических характеристик, таких как температура, соленость, и давление [2].

В ходе проведения экспедиционных работ на оз. Байкал с скоростемером VALEPORT Mini SVS и CTD зондом SBE 37-SMP-IDOMicrocat было выявлено расхождение измеряемых скоростемером значений с расчетным значением скорости распространения звука в воде. Как выяснилось впоследствии, данное расхождение было вызвано неправильной градуировкой скоростемера по формуле, не учитывающей низкую минерализацию (100 мг/л) [5] пресной воды оз. Байкал.

На рис. 1 представлены зеленой линией полученные со скоростемера значения, а также красным пунктиром значения, рассчитанные по формуле Чена-Миллеро[4] для пресной воды. Расчетные значения получены путём измерения величин давления, температуры и проводимости водной среды CTD зондом.

Для градуировки скоростемера, был разработан и изготовлен лабораторный стенд.

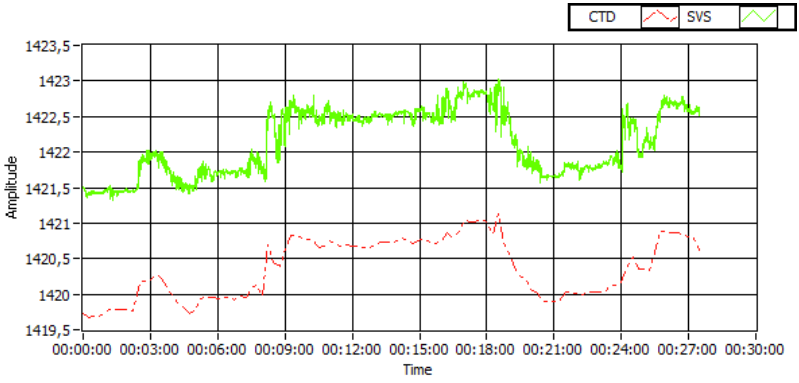


Рис. 1. значения скорости распространения звука в воде оз. Байкал

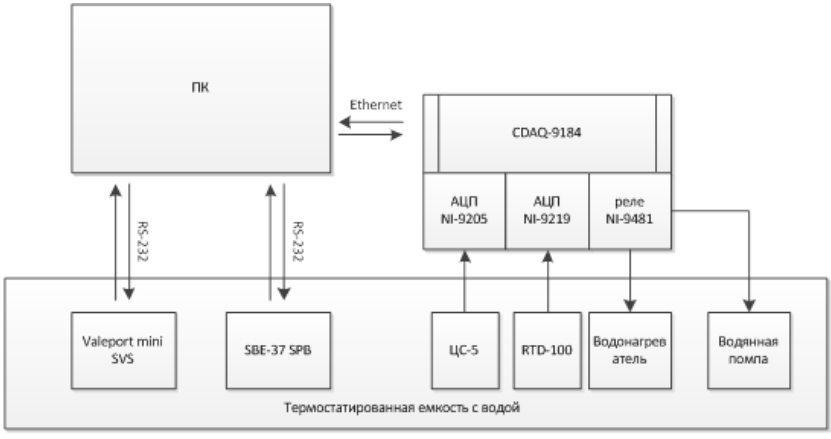


Рис. 2. Блок-схема стенда для калибровки измерителей скорости звука

Стенд (рис. 2) реализован с использованием CTD зонда – Sea-Bird SBE 37-SMP и Шасси cDAQ с модулями National Instruments. Для осуществления эксперимента использовалась термостатированная ёмкость позволяющая минимизировать влияние внешней среды, и проводить управляемое изменение температуры внутри емкости. Реализация данной задачи была достигнута путем помещения водонагревателя мощностью 300 ватт и водяной помпы. Для осуществления управления водонагревателем и помпой, а также обеспечения управляемого изменения

температуры был использован модуль NI 9481. Этот модуль представляет собой 4-х канальное однополюсное электромеханическое реле. Слежение за температурой в емкости, для осуществления автоматического поддержания заданной величины производится с помощью термистора RTD-100.

Шасси NI CompactDAQ9184 (cDAQ-9184), разработанное для использования совместно с модулями ввода–вывода С серии, позволяет производить сбор и генерацию широкого диапазона аналоговых и цифровых сигналов, а также осуществлять управление различного рода устройствами. Комплексный прецизионный датчик SBE 37-SMP-IDOMicrocat связывается с ПК через стандартный интерфейс RS-232 и позволяет производить измерения величин температуры, проводимости, растворенного кислорода и давления в водной среде.

Программное обеспечение для решения поставленной задачи было выполнено в среде программирования NI LabVIEW 2013, посредством, которого обеспечивается обработка получаемых данных и управление всем оборудованием. Написанная программа осуществляет включение и выключение помпы и водонагревателя, как по заданному времени, так и в ручном режиме. Благодаря гибкой системе настроек можно изменять время и интервалы измерений, задавать количество измерений и т. д.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Федосов В. П.** Цифровая обработка звуковых и вибросигналов в LabVIEW. – М.: ДМК Пресс, 2010.

2. **Фирсов Ю. Г.** Основы гидроакустики и использования гидрографических сонаров. – СПб: Нестор-История, 2010.

3. **Корякин Ю. А.** Гидроакустические системы // Сб. «Наука Санкт-Петербурга и морская мощь России». СПб: Наука, 2002.

4. **Chen C-T.A.** Precise thermodynamic properties for natural waters covering only the limnological range / Chen C-T.A., Millero F.J. // Limnol. Oceanogr., 31(3), 1986. PP. 657–662.

УДК 53.088.228

ОСОБЕННОСТИ ГЛУБОКОВОДНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И КОРРЕКЦИИ ДАННЫХ, ПОЛУЧАЕМЫХ ЗОНДАМИ SEA-BIRD В ЯПОНСКОМ МОРЕ

Каплуненко Д. Д., Лазарюк А. Ю., Лобанов В. Б., Сагалаев С. Г.

ФГБУ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, Дальневосточное отделение РАН, ул. Балтийская, 43, г. Владивосток, 690041, тел. (423)231-14-00, dimkap@poi.dvo.ru

The paper presents results obtained by the authors during their marine expeditions to the Japan Sea in 2012-2014. It is to demonstrate a modern opportunities to obtain high accuracy data on vertical distribution of oceanographic parameters (temperature, salinity, oxygen parameters) in the water basin with stable homogeneous characteristics during CTD profiling.

В докладе представлены результаты, полученные при глубоководных измерениях в Японском море в 2012–2014 гг. Анализируются современные возможности получения высокоточных данных о вертикальном распределении основных гидрологических параметров (температура, соленость, содержание кислорода), необходимых для изучения климатических изменений в Мировом океане.

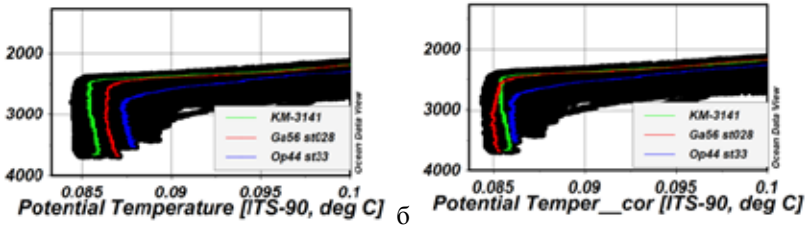
Японское море является водным бассейном окраинного типа, находящимся в субарктическом и субтропическом регионах, с ярко выраженным муссонным климатом. Структура циркуляции его вод и наличие фронтальных разделов делает его похожим на Мировой океан в миниатюре [2, 4]. При этом, характеристики глубинных вод моря (температура, соленость и содержание растворённого кислорода) в придонном слое, ниже 2000 м, известном как адиабатический [4] подвержены сравнительно малым изменениям, составляющим до 0.050 °C [3] за период 1969–2007 при двадцатилетних колебаниях содержания кислорда до 0.47 мкМоль/кг в год [5]. Соответственно, для отслеживания пространственно-временных изменений такого масштаба предъявляются повышенные требования к точности измерительной аппаратуры.

В экспедициях ТОИ ДВО РАН в Японское море эксплуатируется измерительный комплекс SBE-911plus компании Sea-Bird Electronics, Inc., США, [1] который обладает необходимой точностью для измере-

ния вышеуказанных характеристик. Дополнительно, для повышения точности определения концентрации кислорода, используется оптический датчик RinkoIII (JFE Advantech Co., Ltd., Япония).

В работе анализируются данные, полученные в экспедициях 2012–2014 гг. в Японском море в весенний, летний и осенний периоды. Данные обрабатывались как стандартными процедурами, предлагаемыми производителями приборов, так и с индивидуальной коррекцией, учитывающей влияние высокого давления для датчиков температуры (SBE-3plus), электропроводности (SBE-4C) в слоях ниже 2000 м и содержания кислорода (глубины более 900 м). Было показано, что каждый из измеренных параметров нуждается в дополнительной коррекции из-за своих конструктивных особенностей.

Суть полученных результатов выражена на рис. 1–3. Так, при коррекции температуры в промежуточных и глубинных слоях Японского моря, было показано, что кажущийся прирост температуры и форма профиля в придонном слое (рис. 1 а) являются искажением вследствие неучтенного эффекта давления на датчик температуры (откорректированное значение – рис. 1 б).



а б

Рис. 1. Профили потенциальной температуры в глубинных слоях Японского моря при измерениях в 2012 г. без выполненной коррекции для профилей Ga56 st028 Op44 st33 (а, красный и синий профили) и с выполненной коррекцией (б) относительно скорректированного профиля по данным ЯМА (зеленый)

Профили солености для данных 2012 г., учитывающие откорректированные температуру, электропроводность и давление, влияющее на датчик, корректно отражают наличие слоя минимума солености в глубинных водах Японского моря (рис. 2).

Анализ данных содержания растворенного кислорода показал, что датчик RinkoIII обладает определенными преимуществами перед SBE43 в скорости и точности определения концентрации кислорода, что выра-

жено малым количеством отклонений от значений, определенным лабораторным методом за длительный период (рис. 3 а). Однако, в процессе эксплуатации, были выявлены его недостатки, выражающиеся в возможности появления временного тренда в показаниях (рис. 3 б), при достаточно стабильных результатах определения кислорода по SBE43.

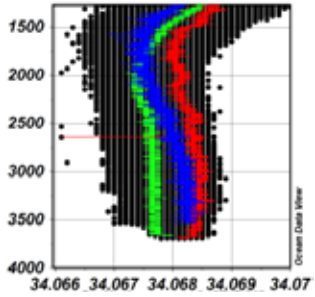
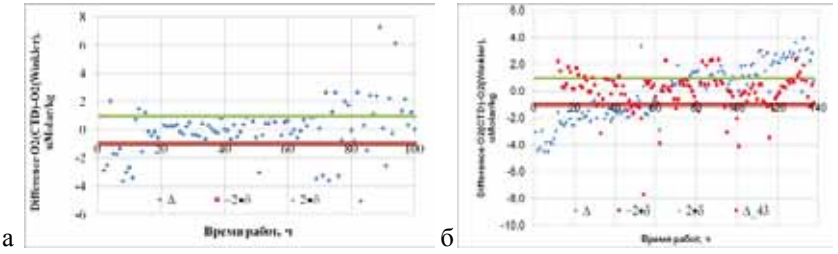


Рис. 2. Профили солености в глубинных слоях Японского моря при измерениях в 2012 г. с выполненной коррекции для профилей Ga56 st028 Op44 st33 (красный и синий профили) относительно скорректированного профиля по данным ЯМА (зеленый)



а б

Рис. 3. Расчет отклонений значений определения кислорода по данным датчиков SBE43 (красные точки) RinkoIII (синие точки) от вычисленных по методу Винклера в рейсах 2013 и 2014 гг. Исходное распределение D – отклонения данных Rinko III и D_43 – данных SBE 43 от метода Винклера, относительно времени отбора пробы (а), и значения D, отобранные для коррекции по критерию $2 \cdot d$ (б). Нижняя граница $2 \cdot d$ обозначена коричневым, верхняя – зеленым

Таким образом, в результате проведенной работы, было выяснено, что при выполнении исследований в Японском море представляется важным учет индивидуальных особенностей датчиков, выполняющих измерения основных гидрологических параметров, т.к. точность измерений в данном случае может быть критичной для анализа факторов, влияющих на форму профилей.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Измерительный комплекс SBE-911plus компании Sea-Bird Electronics. – URL: http://www.seabird.com/sbe911plus-ctd (Дата обращения: 15.01.2015)

2. **Gamo, T., Y. Nozaki, H. Sakai, T. Nakai and H.** Tsubota Spatial and temporal variations of water characteristics in the Japan Sea bottom layer. // J. Mar. Res., –1986. 44, PP. 781–793.

3. **Kim K., Chang K.-I., Kang D.-J., et al.** Review of recent findings on the water masses and circulation in the East Sea (Sea of Japan) // J. Oceanogr. – 2008. – V. 64. – N. 5. – PP. 721–735.

4. **Senjyu T.** The Japan Sea Intermediate Water; Its Characteristics and Circulation // J. Oceanogr. –1999. – V. 55. – PP. 111–122.

5. **Watanabe Yu. W., Wakita M., Maeda N.** Synchronous bidecadal periodic changes of oxygen, phosphate and temperature between the Japan Sea deep water and the North Pacific intermediate water. // Geophys. Res. Lett. – 2003. Vol. 30, No. 24, 2273, doi:10.1029/2003GL018338.

РАЗРАБОТКА ВЕРТИКАЛЬНОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ШУМОВ

Орлов В. О., Малах М. П., Гапоненко П. Л.

ФГУП ВНИИФТРИ, 141570, Московская область,
Солнечногорский район, г. п. Менделеево,
ТЕЛ./ФАКС: (495) 526-63-05, gaponenko1993@gmail.com

This paper deals with process of vertical interferometer's constructing. There were examined construction features of interferometer in this paper. The vertical interferometer is made for measurement of hydroacoustic noises.

В данной работе рассмотрен процесс разработки гидроакустического вертикального интерферометра. В работе рассмотрены основные конструктивные особенности интерферометра. Гидроакустический вертикальный интерферометр предназначен для измерения гидроакустических шумов.

Гидроакустический вертикальный интерферометр (ВИ), позволяет получать информацию о местоположении зон шумоизлучения вдоль корпуса контролируемого объекта [1].

Устройство вертикальный интерферометр предназначено для приёма, преобразования акустических сигналов в электрический сигнал в диапазоне частот от 10 Гц до 10 кГц, передачи его в устройство МС (муфта согласующая), которая преобразует электрический сигнал в оптический для передачи его на береговую аппаратуру обработки.

Выносная многоэлементная приёмная система (вертикальный интерферометр) ВИ состоит из подводного устройства (ПУ) и береговой аппаратуры. В состав ПУ входят морская приемная система (МПС), спускоподъёмное устройство (СПУ), якорь-муфта и гермоконтейнер с аппаратурой, обеспечивающей передачу цифровых сигналов с гидрофонов антенны по кабелю связи на компьютер береговой аппаратуры [2].

Параметры движения объекта на измерительном галсе (скорость, траверзная дистанция, координаты точек галса на моменты начала и окончания регистрации) определяются по результатам обработки импульсного или тонального сигнала, излучаемого трактом аппаратуры «СИД-2012», (например, возбуждаемых ВВ, который устанавливается на время проведения акустических испытаний на корпусе внутри объекта).

Гидроакустический сигнал воспринимается устройством МПУ, преобразовывается в электрический сигнал и усиливается, а затем гидрофонным модулем (МГ) преобразуется в цифровой вид и в формате RS-485 передаётся в СПУ. МПУ и МГ являются составными частями гидрофонного устройства (ГУ). Антенна ВИ содержит шесть ГУ.

Благодаря особенностям разработанной конструкции и технического обеспечения, вертикальный интерферометр обеспечивает передачу сигналов береговому комплексу обработки данных в реальном масштабе времени, что обеспечивает возможность локализации зон шумоизлучения вдоль контролируемого объекта непосредственно сразу после окончания измерительного прохода.

Помимо решения основной задачи локализации зон звукоизлучения вдоль корпуса объекта, многоэлементный вертикальный интерферометр будет использован в качестве антенны бегущей волны для измерения уровней шумоизлучения на средних и высоких частотах [3]. Для исследования возможностей использования разработанного устройства при решении этой задачи, программно-алгоритмическое обеспечение дополняется соответствующими расчетными модулями.

ВИ включает в себя следующие сборочные единицы:

– антенна;

– СПУ.

Антенна состоит из устройства управления цифровыми гидрофонами, набором из шести гидрофонных устройств ГУи датчика давления ДД, в качестве управляемых устройств.

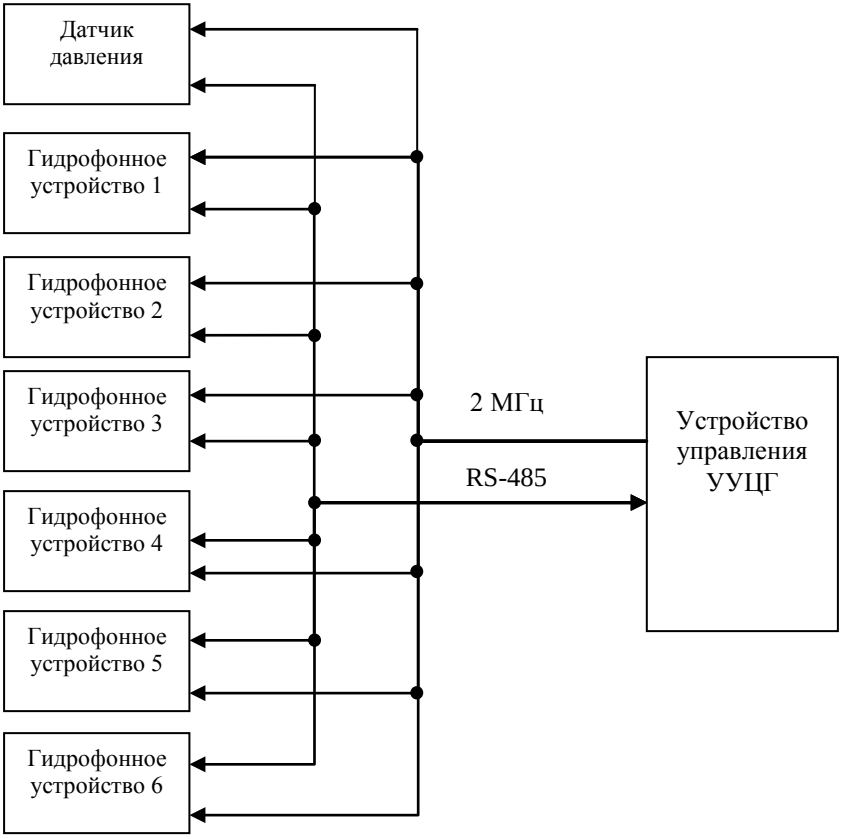


Рисунок 1 – Структурная схема антенны

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Маслов В. К.** Современные технологии анализа и обработки информации в физико-технических измерениях / Монография. Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2010.

2. **Рабинович А. Г., Рубанов Л. А.** Технология производства гидроакустической аппаратуры / Ленинград: «Судостроение», 1973.

3. **Маслов В. К.** Томография с использованием апертурного синтеза Теоретические и прикладные исследования в области метрологии. / В сб. научн. Трудов. Вып. 53(145). Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2008. С. 72–84.

УДК 551.465

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВНУТРЕННИХ ВОЛН, РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ В ОБЛАСТИ ПИКНОКЛИНА, С ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНОЙ НА ОСНОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАТУРНЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полетаева М. А.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»
196158, г. Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44
Тел.: +7 812 415-46-07,Факс: +7 812 727-96-32
krylov@krylov.spb.ru

The main task of the work is the investigation of picnoclin internal waves and shelf area interaction. Natural investigations were carried out on the basis of the analysis of images obtained by radar instruments on ERS-1. The experiments were made in stratified tank. The optical equipment IAB-455 and space multipoint temperature system were used.

Трансформация внутренних волн в шельфовой зоне является предметом ряда исследований. Целью настоящей работы является проведение анализа натурных исследований, выявление причины формирования и определение параметров внутренних волн в шельфовой зоне; проведение экспериментального исследования особенностей взаимодействия внутренних волн, распространяющихся в пикноклине, с моделью шельфовой зоны, и выявление изменений тонкой пространственной структуры гидрофизических полей в водной среде в районе шельфа.

В настоящей работе выполнен анализ спутникового изображения Гибралтарского пролива (рис. 1), полученного 1 января 1993 г. с помощью РЛ с синтезированной аппертурой (РСА) AMI, установленного на спутнике ERS-1. Анализ произведен с использованием программного продукта «BILKO для Windows» (разработчик ЮНЕСКО) для обработки спутниковых данных [1].

Пространственное разрешение РСА AMI спутника ERS-1 составляет 80 м в 1 пикселе. Как видно на рис. 2 в пакет внутренних волн входит порядка двух десятков волн.

Реально оценить параметры возможно только у первых четырех волн, т.к. они имеют очень четко выраженные зоны конвергенции и ди-

вергенции, а последующие волны не имеют четких границ за счет затухания. Области сликов на снимке определены более темными участками, области повышенной яркости (сулои) – выбелены. Также и на графике (рис. 2) – соответствующие области отображаются низкими и высокими значениями яркости.

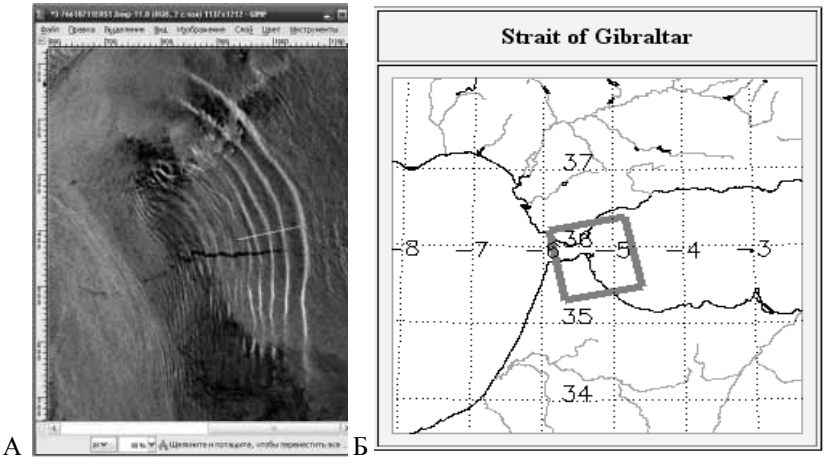


Рис. 1. А – спутниковое изображение Гибралтарского пролива (8 бит) 1 января 1993 г., 23:39; Б – схематическая карта, с указанием положения снимка

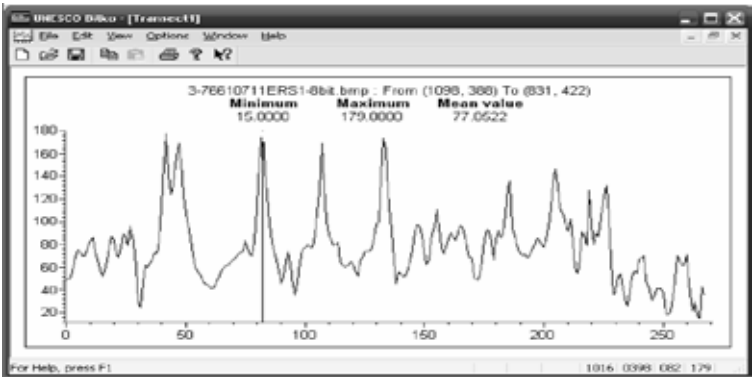


Рис. 2. Сечение волнового цуга в виде графика значений яркости пикселов в выбранной траектории

По горизонтальной оси (x) – количество пикселов по сечению, по вертикальной оси (y) – значение яркости этих пикселов. Ниже приведена формула для расчета длин волн:

$l = \sqrt{(dx \times pw)^2 + (dy \times pw)^2}$ – уравнение длины волны внутренних волн по РЛ изображению, pw- ширина и длина пикселя (1 пиксел – 80 м).

Результаты расчета длин волн: 1 волна = ~2880 м; 2 волна = ~2160 м; 3 волна = ~1920 м; 4 волна = ~1760 м.

Общая ширина цуга составляет примерно 21.1 км.

Течение, огибая подводные выступы, образует «пакеты» внутренних волн за счет характерного специфического рельефа дна Гибралтарского пролива, это и есть возможная причина формирования внутренних волн.

С целью детально исследовать процессы взаимодействия внутренних волн в шельфовой зоне, поставлена серия лабораторных экспериментов. Анализ публикаций посвященных этому вопросу приведен в [2]. Для достижения поставленной цели потребовалось использование двух взаимно дополняющих методов исследования – оптического шлирен-метода и метода многоточечных пространственно-временных измерений поля температуры [3–4]. Эксперименты выполнены в стратифицированном лотке, в боковые стенки которого были вмонтированы оптические стекла. Схематизированная модель шельфа (в дальнейшем – «модель шельфа») была изготовлена из оптического стекла марки К-5, вставленного в деревянную рамку с закруглениями на концах. Лоток заполнялся двухслойной жидкостью (теплая пресная вода поверх холодной солёной) с толщинами слоёв h_1=0.03 м и h_2 = 0.17 м и соответствующими плотностями ρ_1=0.999 кг/дм^3 и ρ_2=1.024 ± 0.001 кг/дм^3.

Визуализация осуществлялась с помощью теневого прибора ИАБ-455 с диаметром окуляра 0.1 м. Профиль стратификации измерялся с помощью вертикального перемещения STD-зонда. В целях получения представлений о пространственно-временных изменениях поля температуры в стратифицированной среде вблизи модели шельфа, была использована многоточечная система из 60 преобразователей температуры. Процесс взаимодействия поля внутренних волн в пикноклине приводит к образованию движений волнового и вихревого характера по горизонтальной поверхности модели шельфа, развитию течений в области, прилегающей к вертикальной стенке модели шельфа, а также к расслоению пикноклина. Рисунок 3 демонстрирует теневую картину образования развитых вихревых структур в течении над шельфом и перетекание жидкости на вертикальную поверхность модели шельфа, полученную при помощи оптической аппаратуры. На рисунке 4 представ-

лена трехмерная картина развития во времени поля центрированных значений отклонений температуры от ее среднего значения – Dt_c^0. По вертикальной оси отложены значения Dt_c^0 с осреднением по времени 5.4 с. (скользящее среднее). Справа представлена шкала температуры в диапазоне –0.5¸ 0.5ºС. На рисунке 5 представлены 4 поверхности равной температуры, значения которых указаны в правой части рисунков. Как следует из этого рисунка, имеет место взаимное проникновение слоев с различными температурами, сопровождающееся «разрывами» поверхностей равной температуры, это является следствием процесса перемешивания жидкости в области взаимодействия внутренних волн в пикноклине с моделью шельфа. Кроме того, близко к верхней поверхности модели шельфа наблюдаются вытянутые в поперечном направлении области равных значений Dt^0,имеющие форму «трубок».

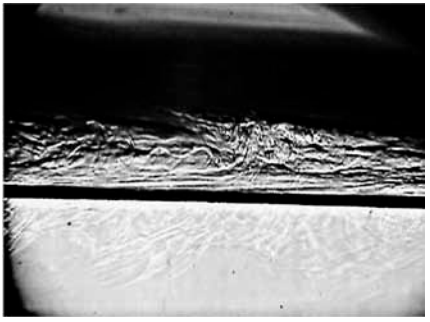


Рисунок 3 – Развитые вихревые структуры над шельфом t=55 сек

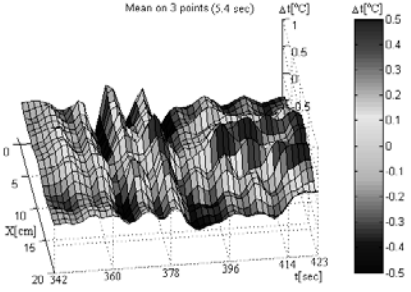


Рис. 4. Поле температуры при взаимодействии внутренних волн в пикноклине с шельфовой зоной

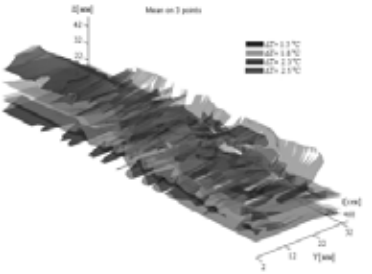


Рис. 5. Поверхности равных значений температуры

В результате проведенных исследований показано, что взаимодействие внутренних волн в пикноклине с моделью шельфовой зоны приводит к трансформации поля самих внутренних волн и к образованию течений вихревого и турбулентного характера, интенсификации процессов перемешивания водных масс, эти процессы приводят к эрозии поверхности шельфовой зоны.

Автор в своих исследованиях опирается на НТО» Экспериментальное исследование взаимодействия внутренних волн, распространяющихся в пикноклине, с моделью шельфовой зоны», выполненный в ФГУП «Крыловский государственный научный центр», и выражает благодарность авторам О. Д. Шишкиной к.т.н., с.н.с.[2]; Э. М. Владимировой[1], А. Д. Литвину, к.т.н., с.н.с[1].

1) ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова» г. Санкт-Петербург;

2) ИПФ РАН г. Нижний Новгород.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. The UNESCO-Bilko Project

2. **Шишкина О. Д.** Проявление на свободной поверхности особенностей трансформации внутренних волн в шельфовой зоне. / Материалы третьей межведомственной конференции «Проявление глубинных процессов на морской поверхности». Нижний Новгород: РАН ИПФ, 2008.

3. **Васильев А. А.** Теневые методы. М.: Наука, 1968.

4. **Владимирова Э. М., Иванов Д. В., Козлов А. А., Литвин А. Д., Скопин Н. А.** Исследование неоднородных течений с применением цветного шлирен-метода. // Труды VII международной конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» (ГА-2004). Санкт-Петербург, 2004.

УДК 532.57

НОВЫЙ ВАРИАНТ АСИММЕТРИЧНОЙ ВИБРОЗАЩИЩЕННОЙ СИСТЕМЫ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ПОЛЯ СКОРОСТИ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ТЕЛЕ ВРАЩЕНИЯ

Федотов Г. А.

ЗАО «Гранит-7», Госпитальная ул., 3,
191014, Санкт-Петербург, Россия. Тел.: +7(812)676-33-99, факс
+7(812)2740126, Email g.a.fedotov@gmail.com

A new modification of the vibration-proof system of the velocity field sensors for the marine turbulence study is proposed. The system is formed by two pairs of sensors located in two different cross-sections of the body of revolution.

1. В данной работе продолжены исследования, направленные на решение актуальной научно-технической проблемы – создание виброзащищенных систем датчиков поля скорости конформного типа для подвижных носителей гидрофизической аппаратуры [1]. Конформные датчики поля скорости устанавливаются заподлицо на поверхности носителя и регистрируют проекцию касательной скорости течения в месте своего расположения на ось чувствительности датчика. Виброзащищенная система (ВЗС) – это совокупность жестко связанных датчиков поля скорости, специальным образом расположенных на носителе, в которой осуществляется совместная обработка их сигналов по специальному алгоритму. После обработки выходной комбинационный сигнал ВЗС потенциально свободен от аддитивных вибрационных помех, вызванных колебаниями системы, но содержит информацию о турбулентных пульсациях скорости в морской среде. Использование ВЗС позволяет снизить аддитивную помеху, обусловленную колебаниями носителя, и тем самым повысить эффективность индикации турбулентных возмущений морской среды и точность определения параметров морской турбулентности.

2. В большинстве предыдущих работ по исследованию ВЗС, расположенных на теле вращения, рассматривалась система, образованная четырьмя датчиками, которые располагаются эквидистантно в двух взаимно перпендикулярных осевых сечениях тела на одинаковом расстоянии от его вершины. Однако по ряду причин подобный симметричный вариант расположения датчиков на поверхности тела вращения не всегда эффективен, например, при движении осесимметричного носителя с ненулевым углом атаки [2].

Известные варианты асимметричных ВЗС [2] предполагают размещение датчиков в одном «поясе», то есть на одинаковом расстоянии от вершины тела вращения. Цель данной работы – теоретически показать возможность создания ВЗС, расположенной на поверхности носителя по одну сторону от плоскости осевого сечения тела вращения в двух «поясах», то есть в двух различных поперечных сечениях тела.

3. Проведенный в работе анализ поля скорости течения на поверхности тела вращения, движущегося в идеальной жидкости, показал, что одна из конфигураций датчиков, образующих ВЗС, имеет вид, пред-

ставленный на рис. 1. При этом предполагается, что оси чувствительности (обозначены отрезками на рис.1) всех четырех датчиков лежат в меридиональных сечениях и касательны к образующим тела вращения.

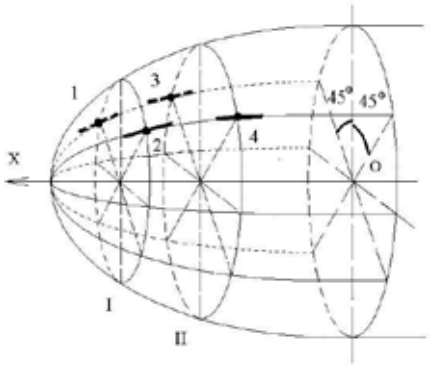


Рис. 1. Расположение четырех датчиков поля скорости, образующих виброзащищенную систему в носовой части тела вращения

Выходной сигнал S указанной системы четырех датчиков на поверхности тела вращения формируется согласно алгоритму

$$S = (S_1 - S_2) - K(S_3 - S_4), \qquad (1)$$

где S_1, S_2, S_3, S_4 – сигналы индивидуальных датчиков, образующих систему. K – коэффициент, зависящий от формы тела и расположения датчиков. В частном случае для тела, имеющего форму эллипсоида вращения

$$K = \frac{1 - x_I}{1 - x_{II}} \sqrt{\frac{1 - e^2(1 - x_{II})^2}{1 - e^2(1 - x_I)^2}}, \qquad (2)$$

где e – эксцентриситет эллипса, образующего вытянутый эллипсоид при вращении вокруг своей большой оси.

Смысл координаты x, входящей в (2), ясен из рис. 2. Ось x совпадает с осью эллипсоида вращения. В точке подпора $x=0$. Значения x_I и x_{II} характеризуют положение двух поперечных сечений эллипсоида, в которых попарно расположены четыре датчика, образующих ВЗС. При этом в соответствии с рис. 1, датчики 1 и 2 расположены в I сечении, а датчики 3 и 4 – во II сечении.

Эти же четыре датчика лежат попарно в двух осевых сечениях тела вращения: датчики 1 и 3 – в одном сечении, а датчики 2 и 4 – в другом. Указанные осевые сечения взаимно перпендикулярны (рис.1).

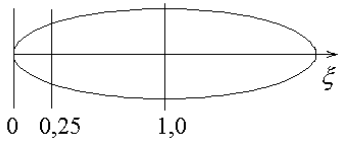


Рис. 2. Ось координат x, задающих положение датчиков на поверхности тела вращения

Один из графиков функции $K(x_1, x_2)$ приведен на рис. 3.

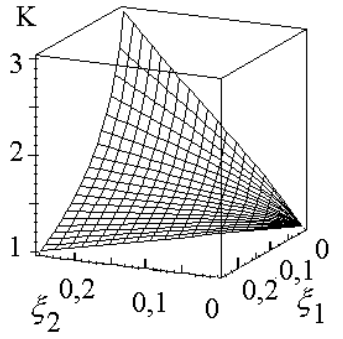


Рис. 3. График функции $K(x_1, x_2)$ для эллипсоида вращения с e=0,95 (его осевое сечение изображено на рис. 2)

4. Важнейшее свойство предложенной ВЗС заключается в том, что в рамках принятой модели (потенциальное обтекание носителя идеальной несжимаемой жидкостью) ее выходной сигнал (1) равен нулю при движении носителя в нетурбулизованной морской среде при произвольном угле атаки. При этом происходит компенсация аддитивных вибрационных помех, обусловленных всеми тремя поступательными колебательными степенями свободы и крутильными колебаниями вокруг оси тела вращения. Если при движении носителя с ненулевым углом атаки его ориентация в потоке такова, что ни один из датчиков, расположенных в носовой части тела ($x \approx 0{,}05$–$0{,}25$), не находится в дальней подветренной зоне, то вероятность того, что на датчики воздействует гидродинамическая помеха, существенно ниже, чем в случае, если один или несколько датчиков, образующих систему, находятся в дальней подветренной зоне.

Данная работа развивает результаты, представленные в [2]. Предложенная здесь ВЗС расширяет функциональные возможности асимметричных систем датчиков поля скорости применительно к носителям, движущимся с ненулевым углом атаки.

5. Таким образом, в работе теоретически показана принципиальная возможность создания нового типа виброзащищенных систем конформных датчиков поля скорости, расположенных на поверхности тела вращения. В отличие от известных модификаций асимметричных виброзащищенных систем в предложенной системе четыре гидрофизических датчика расположены попарно в двух различных поперечных сечениях тела. Предложенная конфигурация датчиков может служить базовой конфигурацией для построения виброзащищенных систем на поверхности тела вращения, движущегося в морской среде с ненулевым углом атаки. В работе приведен также алгоритм совместной обработки сигналов датчиков, образующих предложенную систему.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Федотов Г. А.** Новые системы преобразователей поля скорости для исследования океанской турбулентности с подвижных аппаратов // Материалы 8-й Международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований». Москва, 2003. Ч. I. С. 49–59.

2. **Федотов Г. А.** Asymmetric configuration of hydrophysical velocity field sensors amounting to a vibration-proof system on the body of revolution // Proceedings of the Seventh international conference «Navy and shipbuilding nowadays» (NSN’2013). International Maritime Defence Show IMDS-2013. St. Petersburg, July 4–6, 2013. PP. 124–129.

УДК 627.8

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРИ РАЗРУШЕНИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН НА НАКЛОННОМ ДНЕ

Кушнир В. М., Шоларь С. А.

Севастопольский государственный университет
ул. Университетская 33, г. Севастополь, 299053, sa.sholar@mail.ru

Paper presents results of experimental researches of dynamic loads at destruction of the surface waves on a sloping bottom.

Представлены результаты экспериментальных исследований динамических нагрузок при разрушении поверхностных волн на наклонном дне в опытовом бассейне Севастопольского государственного университета.

Для оценки динамической нагрузки при разрушении поверхностных волн был использован комплекс аппаратуры, включающий волновой бассейн с регулируемым наклоном дна, два цифровых волнографа с разрешением менее одного мм водяного столба, два мембранных датчика динамических нагрузок, установленных параллельно гребню разрушающейся волны с возможностью перемещения от уреза берега, универсальный коммутатор измерительных каналов, компьютер, средства киносъемки [1]. При измерениях расстояние от уреза берега соответствовало максимальной динамической нагрузке. На рис. 1 приведены характерные результаты последовательных съемок формирования гребня волны и его разрушение на наклонном дне при одном из режимов волнопродуктора и наклоне дна 10°. Хорошо видны основные стадии формирования гребня волны на фоне координатной сетки и его разрушения на длине 0,2…0,25м.

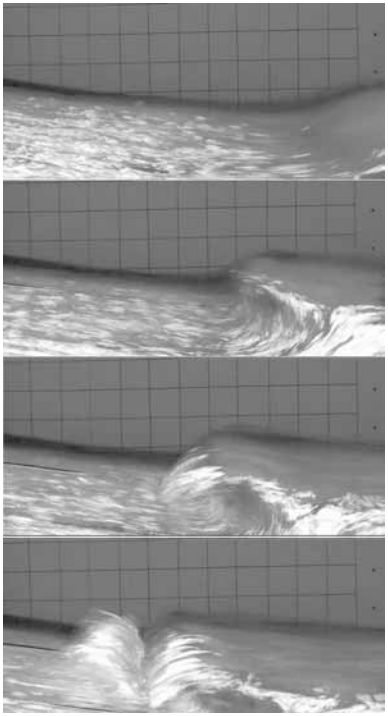


Рис. 1. Разрушения гребня волны на наклонном дне на фоне координатной сетки с размером ячейки 50´ 50 мм

Частота синхронных измерений всех параметров была равна 50 Гц, что в диапазоне возможных периодов волновых возмущений (0,5…2 с) обеспечивало не менее 25 отсчетов на период колебаний. Расчеты спектральных характеристик выполнены по известным алгоритмам Фурье-преобразования корреляционных функций [2]. Для обработки из общих массивов измеренных данных отбирались ряды по 10000 отсчетов, длина корреляционных

функций которых составляла 250 отсчетов, что обеспечивало спектральное окно в частотном диапазоне от 0,1 до 25 Гц. Число степеней свободы при оценке всех спектров равно 80, что соответствует неравенству $0{,}87 \le (S_D/S) \le 1{,}13$, где S_D - действительное значение, S - выборочная оценка спектра.

Результаты измерения динамических нагрузок в зависимости от периода волновых возмущений при различном режиме работы волнопродуктора и наклонах дна приведены на рис. 2.

Как известно [3] динамическое давление, появляющееся при ударе волны, рассчитывается по формуле – $p_d = \rho(V_{\max})^2 [0{,}1]$, где $V_{\max}$ – максимальная волновая скорость, равная $\pi a_w / T_w$.

Помимо динамического давления, волна оказывает на препятствие гидростатическое давление, зависящее от высоты гребня над уровнем спокойной поверхности моря. Эта величина состоит из двух слагаемых, первое равно $\rho g(x/2)$, второе – $\frac{\rho g x^2}{4l}$ и определяется высотой центра орбиты волнового движения x над уровнем спокойной поверхности моря

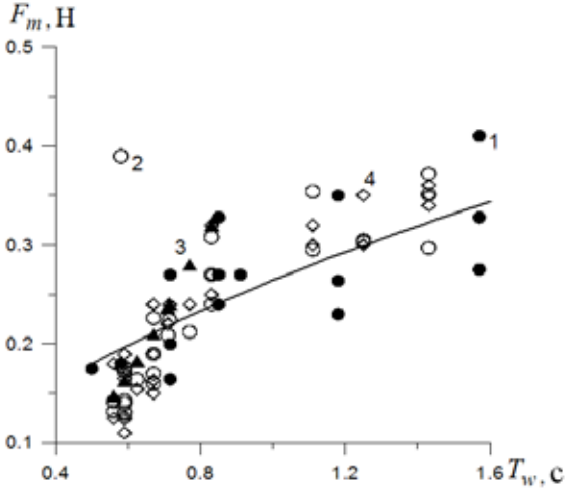


Рис. 2. Измеренные величины динамической нагрузки (Н) – кружки 1 и аппроксимация вида $F_m = 0{,}2644 T_w^{0{,}5582}$, R=0,75 – сплошная линия. 2, 3, 4 – модели расчета динамических нагрузок, рассмотренные ниже

Если считать, что максимальная сила ударной нагрузки действует на уровне средней (спокойной) поверхности моря, то ее величину можно оценить по следующему соотношению

$$p_s = \rho \left(c_g\right)^2 S_d = \left(\frac{\rho g a_w}{2} + \frac{\rho g a_w^2}{4\lambda}\right) S_d ,$$

где ρ – плотность, g – ускорение свободного падения, a_w – амплитуда волны, S_d – площадь мембранного датчика. Эта зависимость представлена на рис. 2 символами 2.

В некоторых случаях [3] динамическую нагрузку определяют по эмпирическому соотношению в зависимости от частоты разрушающихся волн $p_T = 0,09 T_w^2 S_d \times 10^4$, Н. Результаты расчетов по этой зависимости представлены на рис.2. треугольниками 3.

Форму гребня волны перед разрушением можно приближенно представить в виде уединенной волны, которая следует из решения уравнения Кортевега-де Фризе [3–5] – $\eta = \frac{H_{cr}}{2} \left[sch\left(\frac{q}{2b}\right)\right]^2$, где горизонтальная координата q отсчитывается от центра гребня разрушающейся волны, параметр b равен расстоянию от центра гребня, на котором сосредоточена основная часть его энергии. В этом случае динамическая нагрузка при ударе разрушающейся волны определяется из расчета того, что потенциальная энергия гребня трансформируется в динамическую нагрузку на расстоянии l_0. Расчет динамической нагрузки производится по соотношению – $P_6 = \frac{0,5 \rho g S_d}{b l_0} \int_{-\infty}^{\infty} \eta^2 dq$, H, а результаты расчетов представлены на рис. 2 символами 4:

Таким образом, полученные результаты прямых измерений в целом соответствуют рассмотренным трем моделям динамической нагрузки при разрушении поверхностных волн на наклонном дне. Некоторые другие модели и расчетные схемы, которые не рассмотрены, характеризуются значительными отклонениями от данных измерений. Полученные результаты могут быть использованы для верификации расчетных схем динамических нагрузок при решении конкретных инженерных проблем проектирования прибрежных сооружений различного назначения.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Кушнир В. М.** Комплекс для измерения ударных нагрузок при разрушении поверхностных гравитационных волн в прибрежной зоне моря / В. М. Кушнир, С. А. Шоларь, В. Р. Душко // Вестник СевНТУ. Сер. Механика: сб. науч. тр. – Севастополь, 2014. – Вып. 148. – С.141 – 146.

2. **Коняев К. В.** Спектральный анализ случайных океанологических полей / К.В. Коняев. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1981. – 207 с.

3. **Шулейкин В. В.** Физика моря / В. В. Шулейкин. – М.: Изд. АН СССР, 1953. – 989 с.

4. **Боуден К.** Физическая океанография прибрежных вод / К. Боуден.– М.: Мир, 1988.– 324 с.

5. **Филлипс О. М.** Динамика верхнего слоя океана / О. М. Филипс. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1980. – 319 с.

УДК 502.51:504

ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ПОЛУНАТУРНОМ СТЕНДЕ

Воробьёва Е. С., Дудко Д. И., Фёдоров И. С., Колмак Р. В.

Крыловский государственный научный центр,
Московское шоссе, 44, 196158, г. Санкт-Петербург,
8(812)4154607, krylov@krylov.spb.ru

In the present report the description of experimental pool, measuring means for hydrophysical researches and techniques of studying of processes in a vicinity of the ground hollow causing spatial heterogeneity of hydrological structure in open pool is submitted.

В Крыловском государственном научном центре имеется экспериментальный стенд: открытый опытовый бассейн (ООБ), в котором могут изучаться гидрофизические явления, характерные для закрытых водоёмов и участков прибрежных акваторий с сильной изменчивостью донного рельефа и методики изучения процессов в окрестности донной впадины, обуславливающей пространственную неоднородность гидрологической структуры в ООБ.

Открытый опытовый бассейн представляет собой чашу, углублённую ниже уровня грунта с размерами 180´ 70 м. Характерной особенностью ООБ является наличие углубления с глубиной 10 м при средней глубине по площади 4 м.

Общий вид бассейна и вид с батиметрическими характеристиками глубоководной части показаны на рисунке 1.

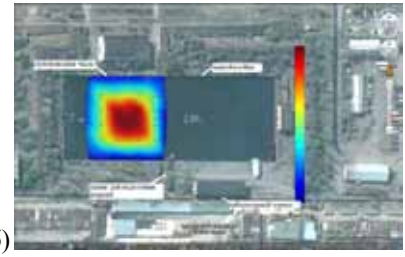
а) б) 

Рис. 1. Общий вид бассейна сверху (а),
батиметрия глубоководной части (б)

Размеры бассейна позволяют использовать его для исследований гидрофизических процессов, формирующихся в условиях аналогичных натурным. Распределение гидрологических характеристик определяется в летний период солнечным прогревом, ветровым воздействием на поверхность водоёма, батиметрическими характеристиками.

В зимний период в условиях ледового покрова распределение гидрологических параметров обусловлено наличием углубления дна.

Характерные гидрологические профили в ООБ в зимний период показаны на рисунке 2.

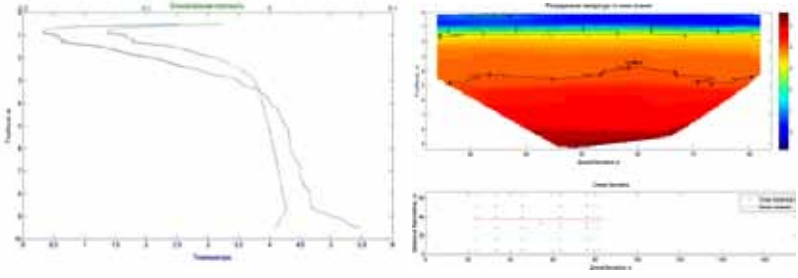


Рис. 2. Типичные гидрологические разрезы в зимний период

Верхний слой до глубины 4 м (глубина основной части ООБ) с высоким сравнительно устойчивым градиентом температуры, нижний слой в глубоководной части со значительно меньшим градиентом температуры.

Так как диапазон изменения температуры на профиле составляет 0–4 ºС, вертикальное распределение плотности соответствует устойчивой стратификации. В этом случае могут возникать внутренние волны, в значительной степени определяющие динамику водных масс в бассейне.

Отмечаются значительные горизонтальные градиенты температуры в области глубоководной части ООБ. При этом вдоль продольной оси бассейна области повышенных горизонтальных градиентов температуры наблюдаются преимущественно над склоном дна.

В течение мая формируется вертикальный профиль температуры с максимальным градиентом в толще воды между слоями 1.5 м и 5 м. В дальнейшем прогрев водных масс проникает в глубинные слои и в августе формируется двухслойная структура температуры воды: в приповерхностном слое до глубины 5 м температура постоянна, в нижележащем слое наблюдается постоянный градиент значительной величины: до 3°С/м.

В окрестности склона дна распределение температуры водных масс имеет горизонтальную неоднородность.

На рисунке 3 показано вертикальное распределение температуры воды вдоль продольной оси бассейна в его глубоководной части.

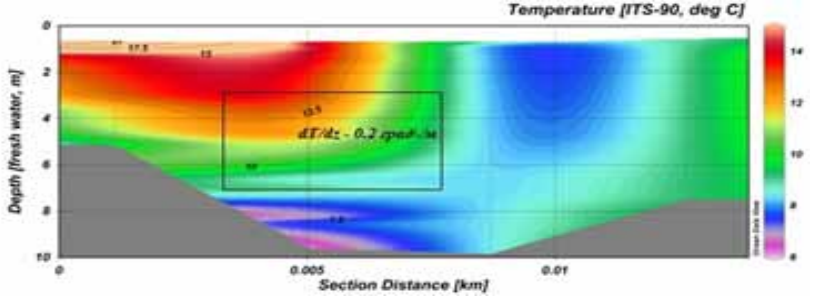


Рис. 3. Вертикальное распределение температуры в глубоководной части

Измерения выполнены путём зондирования в дискретных точках разреза вдоль бассейна. Горизонтальный градиент достигает значительных величин 0,5° С/м. Такая структура водных масс может оказывать существенное влияние на динамические процессы, развивающиеся в тоще жидкости, в частности на поле внутренних волн.

Для изучения такого явления были выполнены измерения по специальной методике с использованием многоточечной температурной линии.

На рисунке 4 показано расположение платформы с температурной линией и схема положения датчиков в акватории бассейна.

Общий ход температуры за период одной серии измерений в течение 3–4 дней, полученной в случае схемы двух гирлянд датчиков, показан на рисунке 5. Цветная шкала показывает изменчивость температуры по глубине в виде изолиний, чёрным цветом показаны возмущения температуры на выбранных датчиках.

Рис. 4. Расположение платформы с температурной линией в бассейне и схема положения датчиков

В период ночного охлаждения возникают высокочастотные возмущения, переходящие в длиннопериодные колебания. Такой процесс наглядно представлен на рисунках 5. Рисунок 5а соответствует положению гирлянды на верхней точке склона, рисунок 5б соответствует нижней точке склона.

Наблюдаемая на рисунке 5 трансформация частотно-фазовых характеристик внутренних волн, распространяющихся над склоном дна, может быть связана с возникновением в таких условиях горизонтального градиента плотности, указанного выше.

Задачей измерения течений в бассейне, в частности, являлось определение пространственной структуры течений, обусловленной неравномерностью рельефа дна. В трех точках склона дна размещался измеритель течений.

Сопоставление направления течений и их ориентация относительно соответствующего склона дна показывают, что в окрестности глубоководной части формируется антициклоническое циркуляционное течений, которое может быть вызвано ветровым воздействием.

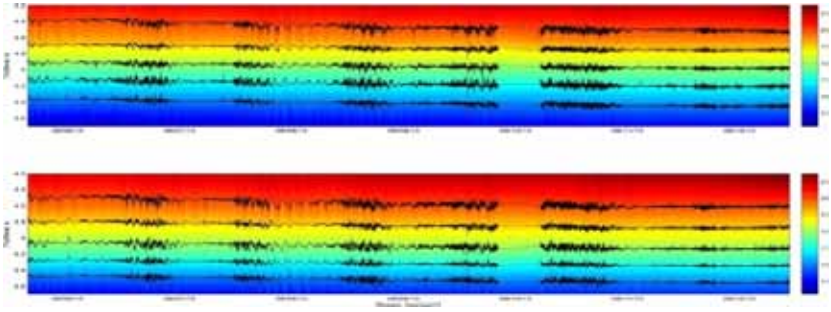


Рис. 5. Картины изменчивости температуры на различных глубинах: а) гирлянда в верхней точке склона дна, б) гирлянда в нижней точке склона дна

Представленные в докладе методика и результаты измерений гидрофизических процессов на полунатурном стенде позволили установить особенности формирования гидрологической структуры в окрестности углубления дна водоёма. В частности обнаружено формирование значительного горизонтального градиента плотности, существенно влияющего на динамические процессы в водоёме, а также возможность формирования характерных циркуляционных течений в области углубления дна.

УДК 551.465

К РАСЧЕТУ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВОДЫ СОВРЕМЕННОГО АРАЛЬСКОГО МОРЯ ПО ЕЕ ИОННОМУ СОСТАВУ

Стунжас П. А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Нахимовский проспект, 36, тел. (499) 124-77-42, факс (499) 124-59-83. E-mail – pastunzhas@ mail.ru

Предлагается способ расчета воды по ее ионному составу и справочным данным. Индивидуальная электропроводность каждой соли и ее парциальная величина в растворе считаются одинаковыми при равной величине ионной силы раствора. Учет межионного взаимодействия заменяется максимизацией концентрации соли $MgSO_4$.

Драма усыхания Аральского моря, которое началось в 70-е годы XX века, хорошо известна. После распада СССР систематические исследования моря с 2002 г. проводит Институт океанологии РАН, их результаты обобщены в книге [1], написанной коллективом авторов во главе с П.О. Завьяловым. Книга своевременная, так как физические, химические и биологические условия современного Аральского моря очень сильно изменились по сравнению с прежними «нормальными» условиями его существования. Имеется несколько способов измерения солености воды в лабораторных условиях: по плотности, по сумме солей при выпаривании воды, по полному (или основному) ионному составу. Однако – практически только один метод *in situ* измерения солености – по электропроводности (E), но здесь возникают сложности пересчета. В [1] использован упрощенный способ расчета солености S_{true} по зондовым данным электропроводности (солености) S_{ctd} с использованием линейной формулы коррекции:

$$S_{true}=1.107\ S_{ctd} + 18.48, \qquad (1)$$

что обосновывается тем, что погрешность такого расчета, естественная для столь простой коррекции, значительно меньше, чем наблюдающийся размах изменчивости солености моря в разных его частях. В то же время физико-химические сложности такой связи очевидны: содержание солей в воде моря очень динамично и сильно отличается от среднеокеанического как по составу, так и по количеству.

Точное решение задачи расчета E по ионному составу, особенно при высоких концентрациях индивидуальных солей, получить очень трудно, так как необходим сложный учет межионного взаимодействия. В то же время, учитывая особенности солености Аральского моря, можно попытаться найти хотя бы приближенный способ расчета E по составу ионов.

Мы считаем, что все соли находятся в единой ионной атмосфере, которая характеризуется не общей концентрацией ионов, а ионной силой раствора I (это стандартный прием в электрохимии [3], который учитывает, что 2-х и 3-х валентные ионы сильнее влияют на свойства раствора, чем одновалентные той же концентрации):

$$I=1/2(m_1z_1^2 + m_2z_2^2 + \ldots + m_iz_i^2)= 1/2\Sigma(m_iz_i^2), \qquad (2)$$

здесь m – концентрация, z – заряд иона. Межионное взаимодействие мы заменяем максимизацией концентрации соли $MgSO_4$, которая имеет минимальную среди других солей электропроводность.

Для пояснения рассмотрим упрощенную ситуацию современного Аральского моря, приняв, что в воде имеются только 4 иона: Cl, Na, SO_4 и Mg, причем концентрации первых двух (в грамм-эквивалентах) в 2

раза выше, чем вторых – 1 и 0.5 г-экв/кг. Соленость такого раствора примерно равна 120‰, а ионная сила 2 г-экв/кг. Тогда они могут образовать либо 2 соли: NaCl и $MgSO_4$ с концентрациями, соответственно, 1 и 0.5 г-экв/кг, либо 3 соли: NaCl, $MgCl_2$, и Na_2SO_4 – все по 0.5 г-экв/кг. В таблице 1 приведены парциальные и общая электропроводности этих солей в растворах, полученных растворением 2-х или 3-х солей. Видно, что во первом случае *E* существенно ниже, его мы и берем для расчета.

Таблица 1. Удельная электропроводность некоторых растворов индивидуальных солей (справочные данные) и их предполагаемых смесей из 2 или 3 солей

Соль концентр., г-экв/кг	NaCl	$MgSO_4$	Na_2SO_4	$MgCl_2$	Сумма
1+0.5+0+0	66.0	15.9	–	–	81.9
0.5+0+0.5+0.5	33.0	–	26.9	31.1	91.0

Процедура расчета: ионная сила *I* раствора определялась по составу и концентрациям ионов. Суммарная проводимость бралась как сумма произведений эквивалентной проводимости каждой соли, взятой при полученной величине I, на ее концентрацию.

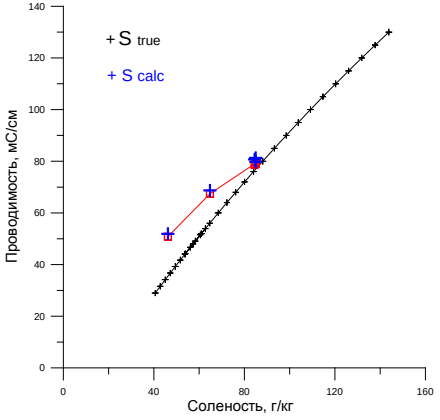


Рис. Зависимость проводимости от солености: + S_{true} (расчетная), + расчетная по ионному составу, □ измеренная.

Для проверки мы взяли измерения A. Freidrich 2004 г. [1] (состав и электропроводность проб были измерены в лаборатории при температуре 20°C). Справочные данные [2] были пересчитаны с 18° на 20°C. Ре-

зультат расчета 4-х проб показан на рисунке синими крестами. Там также показаны измеренные величины E этих проб (красные квадраты), а также «истинная» соленость, рассчитанная для морской воды по стандартной программе [4] с коррекцией по (1).

Из рисунка видно, что среднее превышение расчетных величин *E* над измеренными, составившее примерно 2%, много меньше, чем отклонения по (1).

Этот способ позволяет учитывать влияние изменений солевого состава вод моря на проводимость, которое показано в таблице 2 для одинаковой солености 100 ‰. Использованы данные для Западного бассейна, который исследовался более детально, за 2002, 2004, 2009 гг., а также проба 2005 г. отобранная в Восточном бассейне еще до его пересыхания.

Таблица 2. Различия E по годам и между бассейнами при одинаковой солености 100‰

Год	2002	2004	2009	2005
Проводимость, мС/см	89.4	89.0	93.9	82.3

Как видно из табл. 2, максимальная величина *E* получилась для состава 2009 г. так как там оказалась повышена доля иона калия, а минимальная для Восточного бассейна, там была повышена доля сульфатов. Изменения состава воды происходило, в основном, из-за испарения и отложения различных солей [1]. При одинаковой солености 100 ‰ различия *E* превышают 10%, что в (1) никак не учитывается.

Представляется, что такой способ расчета не является универсальным и, вероятно, годится только для водоемов, где преобладают соли NaCl и $MgSO_4$, и в диапазоне соленостей 50–150 ‰, т.е. до выпадения отдельных солей в осадок. Тем не менее, он дает более точное соотношение между электропроводностью и ионным составом (и соленостью), чем применявшаяся ранее линейная коррекция по формуле (1). Это в свою очередь позволит более объективно описывать происходящие в современном Аральском море физические и химические процессы.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Большое Аральское море в начале XXI века. Отв. ред. П.О. Завьялов. М: Наука, 2012.

2. Справочник химика. Т. 3. / Ред. Б.П. Никольский. М: Гос. Изд. Хим. Литературы, 1952.

3. **Измайлов Н.А**. Электрохимия растворов. Харьков: Изд. Харьковского университета, 1959.

4. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. Unesco technical papers in marine science 44. Unesco, 1983. 53 p.

УДК 551.46

СЕЗОННАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ХПС БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Степанова Н. Б. [1], **Чубаренко И. П.** [2]

[1] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01, nata_chu@mail.ru*

[2] *Атлантическое отделение института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, пр. Мира, 1, 236022, г. Калининград, 8(4012) 45 15 74, irina_chubarenko@mail.ru*

Seasonal evolution of vertical thermohaline structure of the Baltic sea is analyzed on the base of field data. Advective nature of the Cold Intermediate Layer (CIL) is demonstrated. Formation, geostrophic adjustment, slow modification and destruction of the CIL is considered in detail, including the discussion of particular mixing mechanisms responsible for the observed features.

Исследования направлены на изучение процесса формирования и сезонной модификации промежуточных слоёв Балтийского моря. В Балтике, как и, например, в Черном и Средиземном морях, заливе св. Лаврентия и других крупных стратифицированных бассейнах, в тёплый сезон наблюдается Холодный Промежуточный Слой (ХПС), структура и эволюция которого позволяют судить об особенностях термохалинной циркуляции моря в целом.

Материалы и методы

Полученные выводы сделаны на основе анализа (1) экспедиционных натурных данных (CTD) (2004–2008 гг. 8 экспедиций в юго-восточной части Балтийского моря (по программе Лукойл-КМН), 2005–2006 гг. данные IOW на стандартном разрезе экологического мониторинга по программе Helcom, 2006–2013 гг. данные экспедиций АОИОРАН в при-

брежно-шельфовой зоне ЮВБ); (2) лабораторных экспериментов в гидролотке АО ИОРАН; (3) спутниковых SST изображений из архива MODIS (Aqua, Terra). Использовались мгновенные снимки и недельные композиты; (4) теоретического анализа. Численное моделирование в работе использовалось как вспомогательный инструмент.

Критерий определения границ ХПС

При выделении и исследовании характеристик холодного промежуточного слоя использовался метод выделения ХПС описанный в [3], где под ХПС принимается слой от глубины, где температура воды имеет максимальный отрицательный градиент по вертикали – до глубины, где температура имеет максимальный положительный градиент по вертикали. Основными достоинствами способа можно считать простоту и *однозначность* его применения на всей акватории Балтики. Действительно, требуется только профиль температуры воды; термоклин и антитермоклин в условиях Балтики определяются практически однозначно; существующие значительные изменения с севера на юг величины температуры воды не играют роли. При этом – появляется возможность перейти к числовому и статистическому анализу характеристик ХПС.

Проведенный анализ натурных данных показал, что развитие ХПС в сезонном цикле можно условно разделить на три неравных по времени и различных по общефизической сути этапа. Имеющиеся данные позволяют детально рассмотреть термохалинную структуру промежуточного слоя в каждый из этапов и проанализировать вероятные физические механизмы, дающие свой вклад в формирование и модификацию промежуточного слоя.

Этапы эволюции ХПС в сезонном цикле

Началом **первого этапа** – «формирования вод ХПС» – логично считать период начала весеннего прогрева (начало–середина марта). Несмотря на то, что, формально, временем возникновения ХПС в вертикальной структуре следует считать время появления сезонного термоклина, очерчивающего верхнюю границу ХПС, необходимо иметь в виду, что прогрев на бóльшей части акватории Балтийского моря [1] начинается с $T<T_{md}$, что приводит к вертикальному перемешиванию, которое продолжается до достижения поверхностными водами температуры $T=T_{md}$, в результате чего поток плавучести меняется с отрицательного на положительный и начинает формироваться летний термоклин. Это удлиняет этап вертикального перемешивания примерно на 4 недели весной [2], так что максимум вертикального перемешивания приходится не на конец периода охлаждения (как в океане), а на период раннего

весеннего прогрева. В годовом цикле – именно в марте максимальна толщина ВКС (в марте – 62 м, в октябре – 41 м [3]), при этом вертикальное ветроволновое и конвективное перемешивание ежегодно достигает постоянного пикнохалоклина, т.е. полное обновление вод ХПС Балтики (в отличие от, например, ХПС Чёрного моря) происходит как минимум каждую весну. В этот же период активно развивается дифференциальный прибрежный прогрев. Горизонтальный конвективный обмен, возникающий только из-за градиентов плотности над склонами, сам по себе может обеспечить за весенний период (~4 недели в каждом данном регионе) образование промежуточного слоя толщиной не более 5 м [4], что составляет 10–15 % мощности ХПС.

В апреле остатки ранневесеннего перемешивания ещё можно встретить по всей глубине, вплоть до халоклина. В разные годы и в различных районах моря на профилях встречалось до 3–5 однородных по всем параметрам прослоек с толщиной от 1 до 9 м, которые могут быть остатками вертикального перемешивания. К концу апреля, вклад вертикального перемешивания в ХПС не превышает 10% [5]. Остальная часть ХПС – это существенно неоднородные в поле температур интрузии холодных вод. Таким образом, формирование остальных 30-40 м толщины ХПС (75–80%) связано с горизонтальным транспортом вод различными механизмами, причём наличие дифференциального прогрева вод и эстуарийного градиента солёности – существенны. Показано, что верхнюю часть ХПС формируют воды конкретного региона, с характерной для него солёностью, но низкой температурой, в то время как ядро и нижнюю часть ХПС постепенно заполняют воды более солёные – с солёностью и температурой, характерными для перемешанного слоя Борнхольмского бассейна в марте. Это приводит к неоднородности свойств ХПС по горизонтали и необходимости дальнейшей его эволюции в масштабах моря. Также в апреле часто обнаруживаются профили со ступеньками, характерные для послойной конвекции по типу солевых пальцев – в результате прихода в точку измерений интрузий более солёных вод. Это иллюстрирует не только высокую интенсивность «накачки» поверхностных холодных вод в промежуточные слои, но и тенденцию общего продвижения более солёных вод в промежуточных слоях «вверх по эстуарию». По-видимому, именно этот механизм работает над плотностной однородностью ХПС и повышением его солёности со временем.

Второй этап эволюции ХПС – его приспособление в общем поле давления и последующая медленная модификация в летний период. Действительно, полагая, что ХПС формируется локальными процессами

и возникает практически одновременно по всей акватории моря, очевидно, что сразу после формирования он неоднороден по горизонтали и далее необходим период приспособления.

К маю месяцу, судя по мощности однородных прослоек, остаток зимней вертикальной конвекции составляет не более 6 % от общей мощности ХПС. В этот период физически важным становится влияние вращения Земли и стремление движений внутри ХПС к достижению геострофического баланса. К июлю однородные прослойки на вертикальных профилях (потенциальные остатки вертикального перемешивания) либо размываются полностью, либо остаются на нижних горизонтах (40/50/60м), составляя до 4 % от мощности ХПС. Таким образом, эволюция вертикальных профилей температуры и солености воды в весенне-летний период однозначно указывает на значимость адвективного переноса.

Третий этап – разрушение. Вертикальная конвекция из-за сезонного выхолаживания и осенние штормы постепенно разрушают сезонный термоклин. Градиенты плотности по горизонтали (из-за градиента солёности и дифферренциального прибрежного выхолаживания) и воздействие нагонного ветра снова способствуют закачке поверхностных вод в промежуточные слои, тем самым размывая вертикальную плотностную структуру и разрушая ХПС.

Исследования проводятся при поддержке РФФИ, проекты № 13-05-01041а и 14-35-50216 (мол-нр).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гидрометеорология и гидрохимия шельфовых морей СССР. Т. III. Балтийское море. Л.: Гидрометеоиздат, 1992. 450 с.

2. **Демченко Н.Ю., Чубаренко И.П.** Пространственно-временная изменчивость характеристик термического фронта в Балтийском море в 2010–2011 гг. // Океанология. 2012. Т. 52. № 6. С. 790–797.

3. **Степанова Н.Б., Чубаренко И.П., Щука С.А.** Структура и эволюция холодного промежуточного слоя в юго-восточной части Балтийского моря по данным натурных измерений в 2004-2008 гг. // Океанология. 2015. Т. 55. № 1. С. 1-12.

4. **Чубаренко И.П.** Горизонтальный конвективный водообмен над подводным склоном: механизм формирования и анализ развития // Океанология. 2010. Т. 50. № 2. С. 184–193.

5. **Chubarenko I.P., Lobchuk O.I.**, 2015. Structure and variability of the features of the Balic sea cold intermediate layer along the main sea axis in spring 2006. Submitted to Ocean Sciences.

УДК 681.88

АЛГОРИТМ ФИЛЬТРАЦИИ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ НА ГИДРОЛОКАЦИОННОМ ИЗОБРАЖЕНИИ

Оралов Д. В., Бородин М. А.

Кировский филиал ОАО "Концерн" Океанприбор",
187341, г. Кировск, Ленинградская область, ул. Северная, дом 1Г,
8(81362) 24-405, orel_den@mail.ru

The spike reduction algorithm for sidescan image processing is suggested. The results of processing by proposed algorithm for sidescan image which obtained in real conditions is presented.

При обследовании донной поверхности гидролокатором бокового обзора (ГБО) одним из основных факторов, обуславливающих искажения формируемого гидролокационного изображения (ГЛИ), являются различного рода помехи, которые маскируют полезные эхосигналы донной реверберации, что мешает обнаружению и определению координат объектов на дне. Наибольший вклад в искажения ГЛИ вносят импульсные помехи, создаваемые различными гидроакустическими средствами (например, системой подводного позиционирования) при их совместной работе с ГБО.

Предпринимаемые меры по повышению помехоустойчивости ГБО (выбор места расположения антенн, разнесение по несущей частоте и использование для излучения сигналов с заданными корреляционными свойствами) не позволяют в полной мере устранить влияние импульсных помех. В результате задача фильтрации ГЛИ от помех выполняется на этапе первичной обработки.

Традиционно для фильтрации ГЛИ с целью удаления импульсных помех используют одномерные или двумерные низкочастотные пространственные фильтры (например, медианный, фильтр Гаусса и др.) [1, 2]. Существенными недостатками данного решения является снижение разрешения ГЛИ по одной или двум координатам в зависимости от вида применяемого фильтра, а также потеря информации о полезных малоразмерных целях при сглаживании, причем размер апертуры фильтра определяет достижимую степень сглаживания ГЛИ.

Для устранения указанных недостатков существующих алгоритмов предлагается новый алгоритм фильтрации импульсных помех на ГЛИ,

который базируется на свойстве локальности импульсной помехи, заключающемся в очень малой вероятности появления помехи в одном и том же месте ГЛИ для соседних строк. В результате, помеха хорошо выделяется на фоне соседних строк ГЛИ, учитывая это свойство можно эффективно бороться, как с протяженными, так и с одиночными импульсными помехами.

Предлагаемый алгоритм фильтрации выполняется за несколько этапов:

1) Производится накопление трех строк ГЛИ.

2) Выполняется расчет среднего значения по трем накопленным строкам для фильтрации в текущей строке ГЛИ по формуле:

$$\overline{S}_{k_0}(n) = \frac{1}{2} \times \left[S_{k_0-1}(n) + S_{k_0+1}(n) \right], \; n = \overline{1, N}, \qquad (1)$$

где k_0 – номер обрабатываемой строки ГЛИ; k – номер строки ГЛИ; n – номер временной выборки; N – число выборок в строке ГЛИ (определяется установленной шкалой дальности и частотой дискретизации).

3) Производится обработка каждого элемента k_0-ой строки ГЛИ согласно условию:

$$S_{1,k}(n) = \begin{cases} \overline{S}_{k_0}(n), & \text{если} \quad S_k(n) > a \times \overline{S}_{k_0}(n) \\ S_k(n), & \text{иначе} \end{cases}, \; n = \overline{1, N}, \qquad (2)$$

где a – коэффициент порога, $a = 2 \div 3$.

4) После выполнения фильтрации по п.3, обработанное ГЛИ (массив $S_{1,k}(n)$) выводится на индикатор для отображения.

Разработанный алгоритм успешно опробован на ГЛИ, полученных в натурных условиях на Ладожском полигоне ОАО «Концерн «Океанприбор» при испытаниях мобильного многофункционального комплекса «Корвет – ММК», в состав которого входит ряд гидроакустических средств, в том числе буксируемый ГБО и гидроакустическая навигационная система с ультракороткой базой (ГАНС-УКБ).

В качестве примера на рис. 1 представлено ГЛИ участка дна в координатах «номер строки – номер временной выборки», полученное буксируемым ГБО в натурных условиях, причем протяженные по горизонтали отметки – импульсные помехи, создаваемые ГАНС-УКБ.

На рис. 2 показано ГЛИ, обработанное согласно представленному алгоритму фильтрации.

Таким образом, разработан алгоритм фильтрации импульсных помех, минимизирующий эффект сглаживания ГЛИ, причем реализация алгоритма которого не требует больших вычислительных затрат.

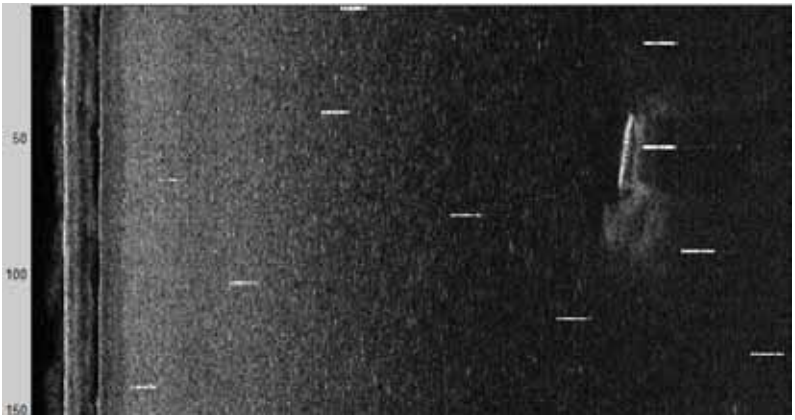


Рис.1. Исходное ГЛИ

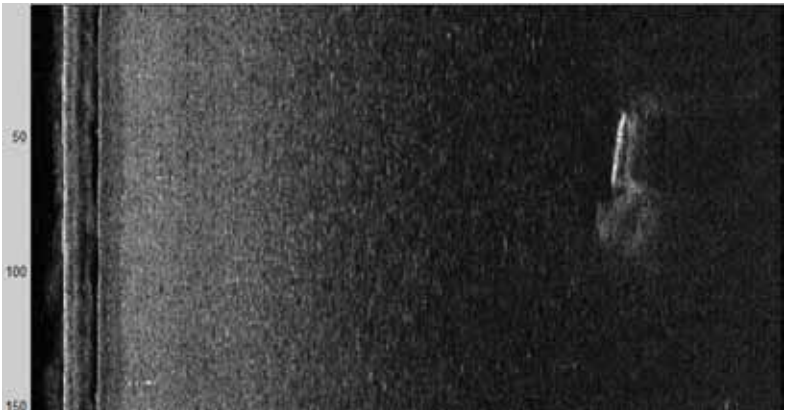


Рис. 2. ГЛИ после алгоритма фильтрации импульсных помех

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Ковтанюк, А.Е**. Улучшение качества гидроакустических изображений методом двойной фильтрации / А.Е. Ковтанюк, А.А. Сущенко, И.Б. Агафонов // Подводные исследования и робототехника Научно-технический журнал о проблемах освоения мирового океана. Дальнаука, 2011, №2(12). С. 31-37.

2. **Гонсалес Р**. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс – М.: Техносфера, 2005.

УДК 551.46

ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЯВЛЕНИЯ АПВЕЛЛИНГА В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКЕ

Есюкова Е. Е., Чубаренко И.П., Стонт Ж.И.

Атлантическое отделение Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, пр. Мира, 1, 236022, г. Калининград, 8 (4012) 95-69-11, elena_esiukova@mail.ru, irina_chubarenko@mail.ru, ocean_stont@mail.ru

We examine MODIS (Aqua, Terra) SST-pictures of the south-eastern Baltic Sea during 2000-2014 years with the aim to extract characteristic features of the sea-coast SST-profiles.

В работе рассматривается возможность применения ТПМ-данных дистанционного зондирования для исследования прибрежного апвеллинга над прибрежными подводными склонами Юго-восточной Балтики. Прибрежный апвеллинг является важным динамическим процессом (весьма распространенный вдоль всего побережья Балтийского моря), одним из важных механизмов вертикального обмена в прибрежной зоне моря. Имея классическую картину хорошо развитого прибрежного апвеллинга, можно описать не только 3D – структуру общей циркуляции вод (подъем вод вдоль по склону, вдольбереговые струи и т.д.), но также и оценить некоторые количественно важные параметры. Но на поверхности вод (на ТПМ-изображениях по данным дистанционного зондирования) апвеллинг – это полоса холодных вод вдоль побережья. Наша задача состояла в том, чтобы, используя данные спектрорадиометров MODIS (Aqua, Terra), вычленить те характерные черты, которые позволяют идентифицировать прибрежный апвеллинг не только в очевидной, хорошо развитой фазе, но также в “сглаженном”, неразвитом этапе или этапе рецессии.

В основу настоящего исследования положены данные спектрорадиометров MODIS на ИСЗ Aqua, Terra, полученные с мая по ноябрь 2000−2014 гг. На основании анализа около 135 ТПМ-изображений прибрежного апвеллинга в мае-октябре 2000−2014 гг. были выявлены особенности горизонтальных ТПМ-профилей вдоль стационарных створов над ППС у побережья юго-восточной части Балтийского моря (рис. 1). Район исследований охватывает прибрежную зону от Латвии (Павило-

ста) до Польши (Леба), включая российский сектор в юго-восточной части Балтийского моря − побережье Калининградской области (рис. 1).

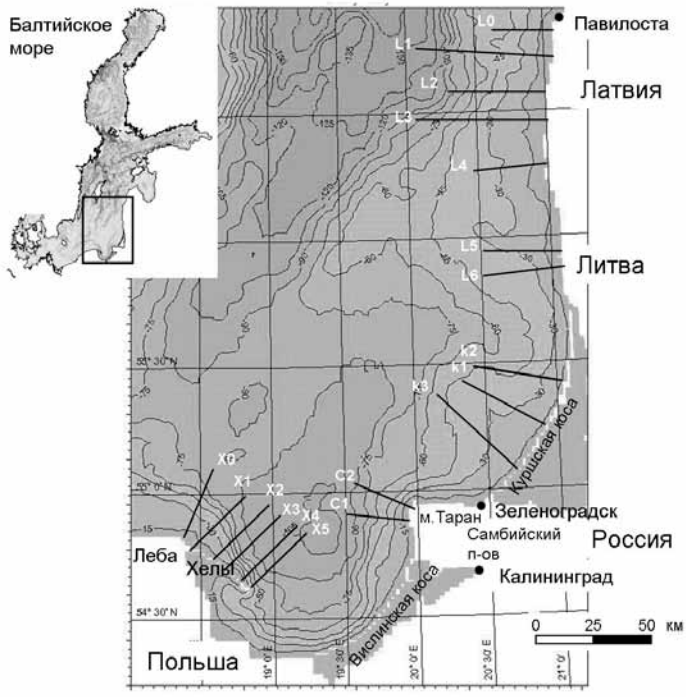


Рис. 1. Район исследования. Показаны створы над склонами, вдоль которых производилась выборка данных ТПМ со спутниковых снимков

Для анализа использовались данные спектрорадиометра MODIS (Aqua, Terra), полученные над юго-восточной частью Балтийского моря (рис. 1). Оригинальные спутниковые данные MODIS Aqua/Terra уровня обработки L1A были получены из архива открытого доступа NASA (http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/) с разрешение 1 км. Дальнейшая обработка производилась в программном обеспечении Seadas 6.2 и включала в себя атмосферную коррекцию по алгоритму MUMM [1] и расчет карт распределений ТПМ [2]. Горизонтальные профили ТПМ строились с использованием программных продуктов VISAT 4.9, VISAT 4.11 и MS Excel.

В районе исследований эпизодов апвеллинга было выбрано 18 стационарных створов от берега в море до глубин 50–140 м, длина которых составляет от 30 до 60 км: семь створов у побережья Литвы–Латвии, три – у Куршской косы, два – у Самбийского полуострова, шесть – у косы Хель (рис. 1). Со снимков производилась выборка профилей ТПМ вдоль створов (с использованием программного продукта VISAT 4.9) с шагом 1 км, так что на каждый профиль приходится порядка 30–60 точек. Серии анализируемых профилей ТПМ вдоль створов в их реальном выражении – как зависимость температуры воды в градусах Цельсия от расстояния от берега в километрах. Далее анализировались (1) особенности формы и характеристики профилей ТПМ от берега в глубокую часть моря, включая характеристики профилей ТПМ над разными склонами в четырех районах ЮВБ (побережье у Литвы–Латвии, у Куршской косы, у Самбийского полуострова и у косы Хель) в пределах одного снимка и для одного склона в разные годы; (2) проводилось сравнение профилей ТПМ с полем глубин.

Мы отметили, что при апвеллинге форма профилей ТПМ разнообразна, но в течение всего периода (май–октябрь) вид профилей имеет определенные черты [3, 4]. Хорошо прослеживается (рис. 2), что с мая по октябрь профили сдвинуты вдоль вертикальной оси температур (самые максимальные значения – в июле–августе), но характерные черты апвеллинга всегда присутствуют. Признаком апвеллинга по профилям ТПМ является его локальность, изменчивость формы профиля для соседних створов. В глубокой части профилей легко определяется “полочка”, характеризующая среднюю температуру в открытом море, несмотря на наличие мезомасштабных особенностей и мелких флуктуаций в поле температур. По мере приближения к берегу на профиле ТПМ вдоль створа наблюдаются: (1) отделение ядра апвеллинга от береговой черты полосой теплых вод, (2) перепад температур между зоной апвеллинга и соседними водами до 1–14°С с градиентами 0.3–3.3°С/км, (3) резкие скачки, фронтальные зоны, перемежаемые изотермическими пятнами, следами струй, (4) характерные изломы и перегибы, обусловленные, вероятнее всего, рельефом дна (уклон дна, осложненность валами, уступами, грядами, выраженной бровкой уступа и т.д., см. рис. 2). Анализ показал, что в 87% случаев апвеллинг возникал при господстве антициклонов и других форм антициклонической циркуляции, 13% случаев приходится на циклонические формы циркуляции

Анализ проводился при поддержке гранта РФФИ № 13-05-01041а. Права интеллектуальной собственности на оригинальные данные MODIS принадлежат Американскому аэрокосмическому агентству NASA.

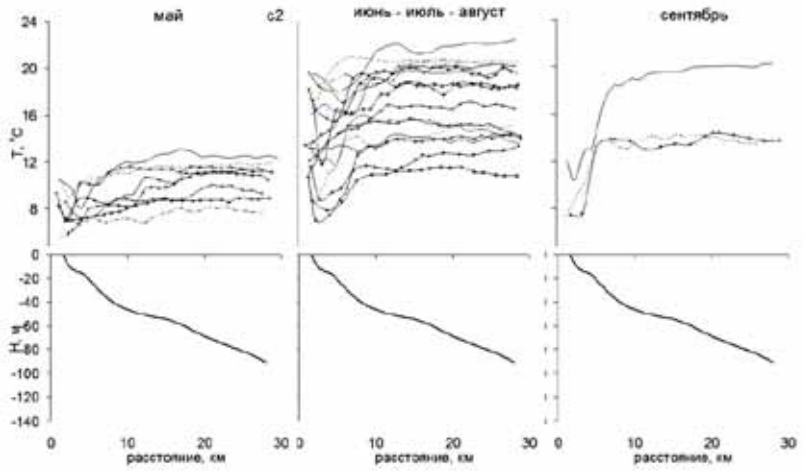


Рис. 2. Семейства профилей ТПМ у побережья Самбийского полуострова над ППС вдоль створа *с2* (согласно рис. 1) с соответствующим профилем глубин за весенние, летние и осенние месяцы 2000–2014 гг. (указаны в поле рисунка)

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Ruddick K. G., Ovidio F., Rijkeboer M.** Atmospheric correction of SeaWiFS imagery for turbid coastal and inland waters // Appl. Opt. – 2000. – V. 39. – № 6. – pp. 897–912.

2. **Brown O. B., Minnett P. J.** MODIS infrared sea surface temperature algorithm theoretical basis document, Ver 2.0. 1999. (http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/ atbd_mod25.pdf).

3. **Есюкова Е. Е., Стонт Ж. И., Чубаренко И. П.** Характерные проявления прибрежного апвеллинга и каскадинга по данным космического зондирования юго-восточной части Балтийского моря // Известия КГТУ. – № 35. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2014. – С. 21–31.

4. **Esiukova E. E., Chubarenko I. P., Sinyukhin A. O.** How to differentiate between coastal cooling and upwelling events on SST images? // Baltic International Symposium (BALTIC), 2014 IEEE/OES, 27-29 May 2014, Tallinn, Estonia. – Publisher: IEEE. – p. 1–7. – Print ISBN: 978-1-4799-5707-1, DOI: 10.1109/BALTIC.2014.6887839

ПРИБОР «BAIKAL-D» ДЛЯ МОНИТОРИНГА СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ И РАССЕЯНИЯ СВЕТА В ВОДНОЙ СРЕДЕ БАЙКАЛЬСКОГО НЕЙТРИННОГО ТЕЛЕСКОПА

Рябов Е.В., Таращанский Б.А.

Институт прикладной физики Иркутского государственного университета, Б. Гагарина 20, 664003, г. Иркутск 8(395-2)-33-21-70

The paper presents a new device «BAIKAL-D» and some of the results obtained during 2013 – 2014 years. The results are in reasonable agreement with previously obtained, at the same time appeared spurious diffraction phenomena associated with an increase of spectral and spatial resolution.

Мы представляем новый прибор, предназначенный для мониторинга оптических характеристик водной среды Байкальского нейтринного телескопа «BAIKAL-D» (deep), наряду с первыми результатами, полученными с его помощью. Прибор установлен на стационарную буйковую станцию в месте расположения НТ-200+ весной 2013г. взамен успешно проработавшего в течение многих лет прибора ASP-15.

Необходимо отметить неплохое согласие результатов, полученных обоими приборами, в то же время в новом приборе проявились дифракционные эффекты, связанные с увеличением спектрального разрешения.

Прибор содержит главный герметичный модуль (1), показанный на Рис. 1а, в котором находится электронный блок управления прибором (2), модем (3) для связи по жиле питания с береговой станцией, монохроматор, на основе вогнутой дифракционной решетки (4), шаговый двигатель механизма поворота дифракционной решетки (5), датчик конечного положения механизма поворота (6), светодиодный осветитель (7), входной световод (8), вводящий свет от осветителя в монохроматор и выходной световод (9), выводящий свет от монохроматора в водную среду.

На верхней крышке (Рис. 1,б) расположен шаговый двигатель (10) в масленой рубашке, приводящий в движение помощью тросовой петли (11), ведущего (12) и ведомого (13) шкивов платформу нейтральной плавучести (14), на которой расположен малый герметичный модуль с приемником света.

На нижней крышке расположен точечный монохроматический квазиизотропный источник света (16), нить (17), натягивающаяся между центрами источника и приемника света, экран (18), фиксированный на нити, подпружиненный блок (19), рычаг (20) и уловитель нити (21).

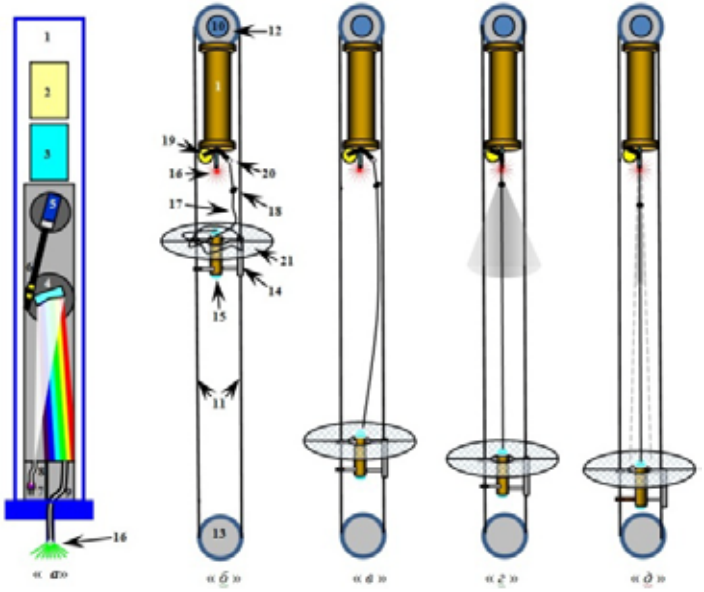


Рис. 1. Схематичное изображение прибора «BAIKAL-D»: содержимое главного модуля и четыре стадии процесса измерения спектров поглощения и рассеяния

Методика измерения спектров поглощения и рассеяния описана в [1, 2]. На рис. 1*в* показаны измерения освещенности незатененного приемника, *г* – затененного тенью с большим углом и *д* – с малым углом тени.

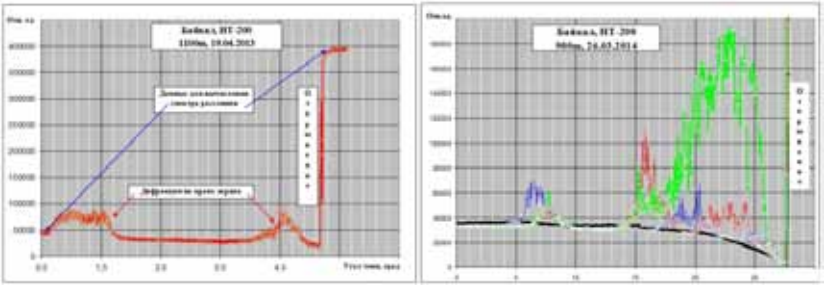


Рис.2. Зависимости освещенности приемника от угла тени. Слева – эксперимент 2013 г., справа – 2014 г.

Нить должна гарантировать центрально-симметричное положение экрана. На рис. 2 слева показана зависимость освещенности от угла тени, измеренная весной 2013 г., справа – весной 2014 г. Во всех экспериментах 2013 г. для различных длин волн наблюдалось появление «пятна Пуассона» при углах тени 0,6–1,6 градуса. Падение освещенности в районе 0,5–0,6 градуса говорит об отсутствии «прямого света». Иногда «пятна» возникали при больших углах тени. В 2014 г. была увеличена база прибора, и диапазон изменения угла тени (рис. 2 справа). Как видно из рисунка, иногда дифракция отсутствовала (черная кривая).

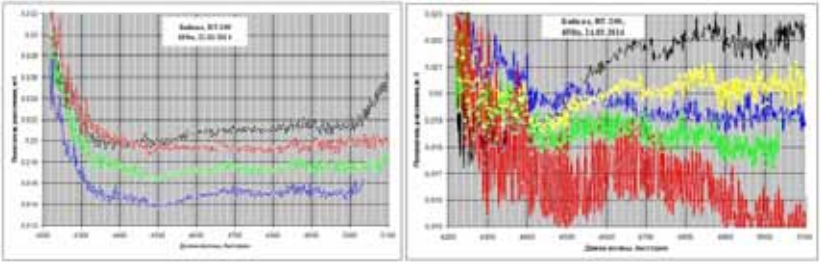


Рис. 3. Слева – спектры рассеяния, при углах тени 0,5; 5; 10 и 15 градусов. Справа – то же, но при наличие дифракции

Для измерения спектров рассеяния достаточно, чтобы дифракция отсутствовала при малых углах тени. Это условие очевидно выполнялось в эксперименте, изображенном на рис. 2 справа, правда, это было не всегда. Возможно, за появление или отсутствие дифракционной картины ответственна индикатриса рассеяния.

На рис. 3 (слева) приведены спектры рассеяния, измеренные 21.03.2014 г. на глубине 650 м с углом тени 0,5; 5; 10 и 15 градусов, расположенные на рисунке в таком же порядке сверху вниз. Судя по характеру кривых, дифракция отсутствует в данном эксперименте.

Аналогичные данные от 24.03.2014 приведены на рис. 4 (справа). Как видно при больших углах затенения возникает «периодический» спектр. Наличие «Пятна Пуассона» в данном измерении привело бы к заметному «подъему» кривой спектра относительно остальных. Поскольку это не так, можно предположить, что дифрагированный свет в виде концентрических колец в эксперименте присутствует, но составляет не более 20% от рассеянного света (относительная амплитуда колебаний спектра). Однако согласно формуле Френеля период колебаний должен быть обратно пропорционален углу тени, чего не наблюдалось.

На рис. 5 (слева) приведены примеры спектров поглощения света в водной среде Байкальского Нейтринного Телескопа, измеренные 03.08.13 и 28.12.14. Среднее за последние почти 20 лет значение показателя поглощения света в минимуме спектра по нашим данным – 0,044м$^{-1}$. В 2013 г. среднегодовое значение было выше среднего ~ 0,055м$^{-1}$, в приведенном примере ~ 0,07 м$^{-1}$, в 2014 г. – ниже среднего (~ 0,035м$^{-1}$) рис. 5 (справа) демонстрирует дневные вариации спектра поглощения.

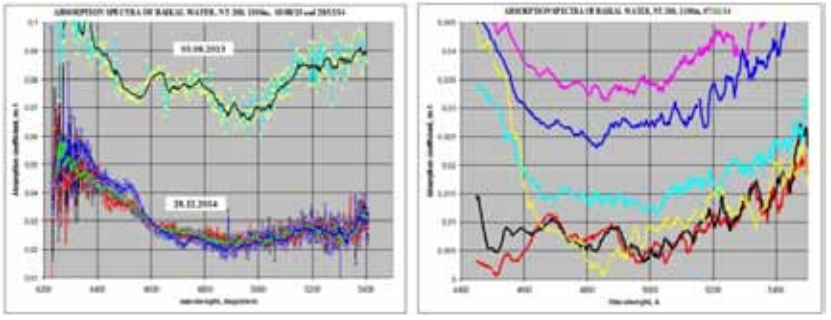


Рис.5. Слева – сравнение спектров поглощения в 2013 и 2014 г. Справа – сплайны спектров поглощения от 07.11.2014

Подводя итоги, отметим, что с помощью нового прибора получены важные для нейтринного телескопа результаты, повышение спектрального разрешения подтвердило наше предположение о наличии тонкой структуры в спектрах поглощения и рассеяния.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Таращанский Б. А., Коханенко Г. П., Миргазов Р. Р., Рябов Е. В., Ягунов А. С.** Методы и результаты мониторинга оптических характеристик водной среды байкальского нейтринного телескопа, осуществляемого стационарным глубоководным прибором ASP-15. «Оптика атмосферы и океана», 2010. 23. № 9.

2. **Avrorin, A.** et al., Asp-15 – A stationary device for the measurement of the optical water properties at the NT200 neutrino telescope site, Nuclear Instruments &Methods In Physics Research A (2012), http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2012.06.03

УДК 551.46

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КОРОТКОПЕРИОДНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ И ПРОЦЕССОВ ПРИЛИВНОМ АРКТИЧЕСКОМ МОРЕ

Зимин А. В.[1,2], Романенков Д. А.[1], Козлов И. Е.[2], Родионов А. А.[1]

[1] Санкт-Петербургский филиал ФГБУН Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (СПбФ ИО РАН), 1-ая Линия В.О., 30, 199053, г. Санкт- Петербург, 8(812) 328-57-59, zimin2@mail.ru
[2] Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), Малоохтинский пр., 98, 195196, г. Санкт- Петербург, 8(812) 372-50-80, zimin@rshu.ru

The paper presents a concept of a monitoring system of short-term variability of environmental conditions in the arctic tidal sea. The system allows comprehensive observation of processes and phenomena in the fine- and submesoscale range of variability of hydrophysical fields. The main elements of the system were developed and aoroved by the results of contact and remote (satellite) observations in the White Sea.

Недостаток регулярных сведений об изменчивости гидрологических характеристик внутри приливного цикла в контексте описания процессов, происходящих в океане, в целом является одной из проблем физической океанографии. Она связанна с тем, что исключается возможность использования традиционных данных океанологических измерений, которые собираются по стандартным горизонтам на относительно редкой для подобных явлений и процессов сетке станций. Очевидно, что необходимо разработать методологию специализированного мониторинга, позволяющего с одной стороны охватывать значительные акватории, а с другой – получить детальные представления об изменчивости гидрофизических полей (ГФП) на небольших пространственно-временных масштабах с учетом их связи с динамическими процессами большего масштаба.

Например, в Белом море на фоне достаточно хорошо изученной сезонной, синоптической и приливной изменчивости гидрофизических полей [1] отмечаются короткопериодные интенсивные внутренние вол-

ны (ВВ) и субмезомасштабные вихри. Они регистрируются по данным контактных и спутниковых наблюдений [2, 3] и соответствуют пространственным масштабам тонкой структуры и короткопериодной части мезомасштаба (т.н. субмезомасштабу), а также оказывать влияние на характеристики вертикального турбулентного обмена [4].

Целью создания системы мониторинга короткопериодных процессов является сбор, систематизация и анализ гидрометеорологической информации, форма и содержание которой обеспечивает ее использование для получения количественных оценок приливной и внутри приливной изменчивости ГФП, тонкой структуры вод и процессов перемешивания, обусловленных короткопериодными ВВ, субмезомасштабными вихрями и мезомасштабной фронтальной динамикой в арктическом море.

В основе системы мониторинга лежат разработанные и усовершенствованные методики контактных и дистанционных (спутниковых) наблюдений, позволяющих оценивать изменчивость ГФП на масштабах от 100 м до 10 км и от 10 мин до приливного периода (12.42 ч). Контактные измерения проводятся по методике, защищенной авторским свидетельством [5], в районах с различной гидрологической структурой вод и морфометрией дна. Комплексный анализ поверхностных проявлений короткопериодных ВВ и малых вихрей в арктических морях выполняется на основе специально разработанной методики анализа спутниковых радиолокационных (РЛ) изображений, включающей калибровку, фильтрацию и географическую привязку снимков. Кроме того, были разработаны новые методики анализа мультиполяризационных РЛ изображений и комплексирования результатов наблюдений в РЛ и ИК диапазонах [6, 7]. С использованием этих методик на основе обработки РЛ снимков и данных контактных наблюдений были созданы базы данных [8–10].

Система мониторинга короткопериодной изменчивости ГФП в море должна включать морскую и космическую подсистемы наблюдений. В рамках системы объединяются результаты учащенных наземных (судовых) наблюдений на суточных и многочасовых станциях в отдельных районах моря и спутниковые данные высокого разрешения, охватывающие значительные акватории моря.

Спутниковая подсистема наблюдений позволяет получить представления о пространственном распределении короткопериодных ВВ, субмезомасштабных вихревых структур, фронтальных разделов и их динамике на акватории всего моря. В основе ее эксплуатации лежит использование архивных и оперативных данных со спутников ENVISAT (ASAR), RADARSAT (SAR) и Terra/Aqua (MODIS).

По данным спутниковых наблюдений определяются акватории моря с интенсивной субмезомасштабной динамикой, и на основании этого выбираются районы работ для морской (судовой) подсистемы мониторинга. Она включает в себя микромасштабные океанографические съемки и измерения на полигонах из буйковых станций, дополненные данными учащенных океанографических станций (сканирований) с заякоренного в районе полигона судна.

Мелкомасштабные океанографические съемки выполняются в разные фазы приливного цикла. Каждая съемка состоит из нескольких разрезов. Наблюдения производят за температурой и солёностью с помощью СТД-зондов с дискретностью по вертикали не менее одного метра. На полигонах из буйковых станций измерения проводятся профилирующей аппаратурой с частотой измерения, близкой к частоте Вяйсяля-Брента несколько циклов полусуточного прилива. Сканирования с борта судна выполняются СТД-зондом от поверхности до дна с дискретностью 1–3 минуты в зависимости от глубины места в течение того же времени.

Для обработки данных специальных полигонных экспериментов используются современные и традиционные методы статистического анализа. На основе этих результатов производится оценка временной изменчивости гидрологических полей.

Отдельные элементы системы мониторинга были отработаны и апробированы в ходе ежегодных экспедиционных работ 2006–2014 гг. в Белом море и на этапах анализа результатов обработки архивов спутниковой информации [2, 4, 11]. Элементы системы, связанные с использованием результатов моделирования мезомасштабной и синоптической динамики морской среды и метеоданных, нуждаются в развитии. Данные о короткопериодной изменчивости гидрофизических характеристик, процессов и явлений должны стать неотъемлемой частью общей системы оперативного мониторинга и прогноза ГФП в Белом, Баренцевом и Белом морях. Результаты работы используются для совершенствования численных гидродинамических моделей в интересах оперативной океанологии, подводной акустики и навигации.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 15-05-04639_а и № 14-05-31423 мол_а.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Филатов Н. Н., Тержевик А. Ю.** Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. – 335 с.

2. **Зимин А. В., Романенков Д. А., Козлов И. Е., Шапрон Б., Родионов А. А., Атаджанова О. А., Мясоедов А. Г., Коллар Ф.** Короткопериодные внутренние волны в Белом море: оперативный подспутниковый эксперимент летом 2012 г. // Исследование Земли из космоса. – 2014. – № 3. – С. 41–55.

3. **Родионов А. А., Романенков Д. А., Зимин А. В., Козлов И. Е., Шапрон Б.** Субмезомасштабные структуры вод Белого моря и их динамика. Состояние и направления исследований // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2014. – Т. 7. – № 3. – С. 29–41.

4. **Зимин А. В.** Короткопериодная изменчивость гидрофизических полей и характеристик внутреннего волнения в течение полусуточного приливного цикла в шельфовых районах Белого моря // Океанология. – 2013. – Т. 53. – № 3. – С. 293–303.

5. **Зимин А. В.** Методика выполнения натурных экспериментов по исследованию короткопериодных внутренних волн в морях Северо-Европейского бассейна. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013621214 от 24.09. -2013.

6. **Kudryavtsev, V., I. Kozlov, B. Chapron, and J. A. Johannessen** Quad-polarization SAR features of ocean currents // J. Geophys. Res. Oceans. 2014. – 119. – doi:10.1002/2014JC010173.

7. **Kozlov I. E., Kudryavtsev V. N., Johannessen J. A., Chapron B., Dailidienė I., Myasoedov A. G.** ASAR imaging for coastal upwelling in the Baltic Sea // J. Adv. Space Res. – 2012. – 50. – 8. – P. 1125–1137.

8. **Зимин А. В., Козлов И. Е., Мясоедов А. Г., Мохнаткин Ф. Ю.** Проявления внутренних волн по данным контактных и спутниковых наблюдений в 2010 г. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2012261188 от 19.11. – 2012.

9. **Зимин А. В. Козлов И. Е., Атаджанова О. А.** Внутренние волны по данным одновременных контактных и спутниковых наблюдений в Белом море. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013621214 от 24.09. – 2013.

10. **Зимин А. В., Козлов И. Е., Атаджанова О. А.** Субмезомасштабные вихри данным спутниковых наблюдений в Белом море. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620713 от 20.05. – 2014.

11. **Kozlov I., Romanenkov D., Zimin A., Chapron B.** SAR observing large-scale nonlinear internal waves in the White Sea // Remote Sensing of Environment. – 2014. – 147. – P. 99–107.

УДК 551.46 (551.501)

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ X-ДИАПАЗОНА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ И ТЕЧЕНИЙ

Ивонин Д. В.[1], Телегин В. А.[2,3], Чернышов П. В.[4], Мысленков С. А.[5], Куклев С. Б.[4]

[1] Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-75-65, ivonin@ocean.ru

[2] Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им.Н.В.Пушкова РАН, г.Троицк, 142191, Московская обл., 8(496)751-01-20,

[3] НИИ дальней радиосвязи, Бухвостова 1-я ул., 12/1, 107076, г. Москва, 8(909)990-92-01, telvika@gmail.com

[4] Южное отделение института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, ул. Просторная 1-г, 353470, г. Геленджик, Краснодарский край, 8(86141)2-80-89, kuklev@ecologpro.ru

[5] Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 119991, г. Москва, 8(495) 939-22-38, stasocean@gmail.com

Paper presents a part of marine engineering activities concerning development of oceanographic X-band radars on the base of nautical radars “River-Micran” and Furuno-M1715 for remote sensing (1-3 km from radar) of the significant wave heights and surface currents. Validation of remote system vs. in-situ measurements showed correlation coefficients for wave heights 0.82 and standard deviation 26 cm, as well as, accuracy for current measurements 20 cm/s for the speed amplitude and 20 degrees for the direction.

В докладе представлена часть современной деятельности Института океанологии П.П. Ширшова РАН (ИОРАН), Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), ОАО «НПК «НИИДАР» (НИИДАР), и Географического факультета МГУ, связанная с разработкой радиолокационных систем (РЛС) X-диапазона для измерений ветрового волнения и течений в открытом море и прибрежной полосе.

В течение последних 5 лет были созданы и активно эксплуатируются [1, 2] при проведении океанологических исследований следующие образцы океанографических (Ок) РЛС: а) ОкРЛС «Река» (на базе соответствующей навигационной РЛС производства «Микран» г. Томск) и б) ОкРЛС «Фуруно М1715». Радары используют обработку последовательности яркостных изображений некогерентной РЛС кругового обзора, накопленных на 2-3 минуты [3, 4].

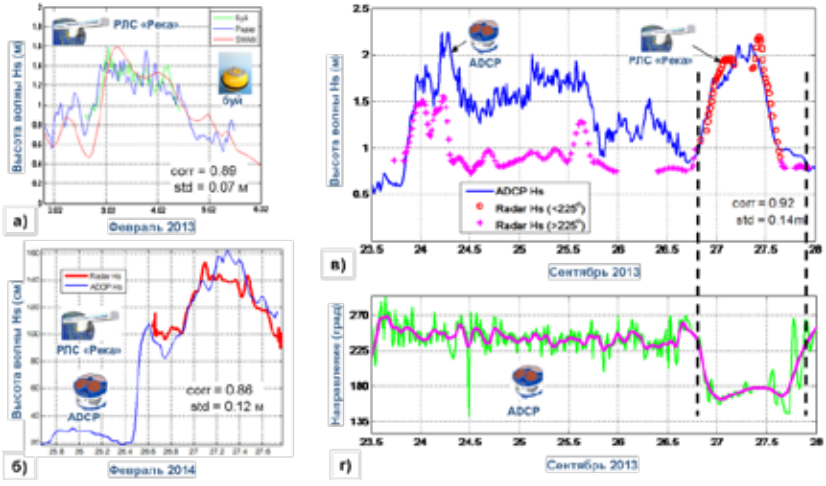


Рис. 1. (а) Сравнение высоты значительных волн между радаром «Река» и буем. (б) Сравнение высоты значительных волн между радаром «Река» и ADCP. (в) Сравнение высоты значительных волн между радаром «Река» и ADCP для случая, когда меняется направление волнения, и (г) направление волнения согласно ADCP

Демонстрируются хорошие возможности навигационных РЛС X-диапазона для измерения волнения и течений, а также большой потенциал их использования в составе сетей почти непрерывных по пространству и времени наблюдений волнения вдоль побережья. На основе собранных данных за сезон 2013–2014 года, и экспериментов других лет, по 9-ти штормам была произведена верификация РЛ наблюдений волнения и течений с помощью волнового буя и акустической донной станции (см. рис. 1 и 2). Были определены условия достижения наилучших характеристик РЛ наблюдения волнения и течений в условиях работы в прибрежной зоне. Существенной помехой для надежных РЛ из-

мерений волнения оказалось ограничение зоны обзора радара по углу при работе в узких бухтах. Применительно к радару X-диапазона с длиной антенны 2 м оказалось возможным успешно определять высоту волнения на расстоянии 1.2 км от радара при направлении волнения +/- 31 градус к направлению зондирования. Для них коэффициенты корреляции между данными о волнении составляют 0.82, стандартное отклонение по значимой высоте волн 0.26 м. Течения оказалось возможным определить для более широкого диапазона условий. Для течений точность измерений составила 20 см/с по амплитуде и 20 градусов по направлению.

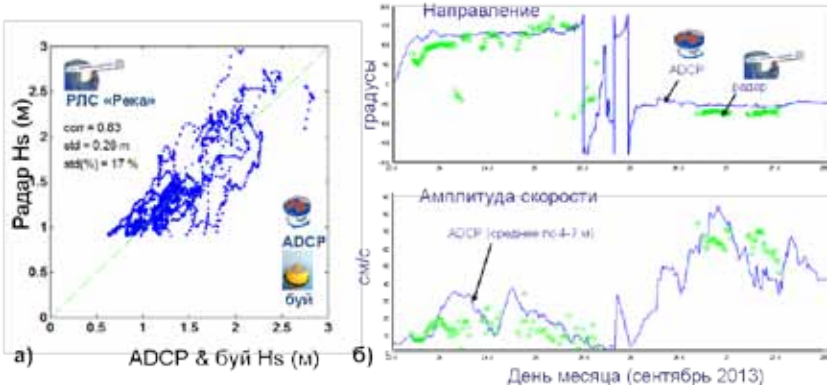


Рис. 2. а) График рассеяния для высоты значительных волн, полученных РЛС «Река» и акустическому измерителю волнения (ADCP) и бую по 9 штормам за период 2013–2014 года. б) Сравнение направления и амплитуды скорости течения согласно РЛ данным и ADCP

Локатор, при удачном расположении, может заменить несколько буев, расположенных в различных частях сложной прибрежной зоны, может позволить вести наблюдения трансформации прибрежного волнения на различном удалении от берега и т. п. В ценовом эквиваленте зарубежные радиолокационные системы [5] примерно равны по цене стоимости волновых буев (около 3 млн. руб.). Российские радиолокационные системы, построенные на локаторах «Река» и других, обещают быть втрое-вчетверо дешевле (около 0.5–1 млн руб.) [1, 2]. Другим дополнительным преимуществом использования радиолокаторов по сравнению с буями является простота, дешевизна их годового обслуживания и вандалозащищенность.

Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН №23 «Динамика морского волнения в задачах дистанционного зондирования морской поверхности в прибрежной зоне», грантов РФФИ №12-05-92004-ННС_а, №12-05-31498, №12-05031463, №12-05-31409, №14-05-93084, №14-05-31529. Анализ точности РЛ наблюдений волнения в условиях работы в прибрежной зоне был выполнен при фин. поддержке РНФ, проект №14-50-00095.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Ивонин Д. В., Мысленков С. А., Чернышов П. В., Архипкин В. С., Телегин В. А., Куклев С. Б., Чернышова А. Ю., Пономарев А. И., Халиков З. А.** Система мониторинга ветрового волнения в прибрежной зоне Черного моря на основе радиолокации, прямых наблюдений и моделирования: первые результаты // Проблемы региональной экологии. – 2013. – № 4. С.172–183.

2. **Ivonin, D. V., Telegin, V. A., Bakhanov V. V., Ermoshkin A. V., and Azarov A. I.** Sample application of a low-cost X-band monitoring system of surface currents at the Black Sea shore // Russ. J. Earth. Sci., 2011. V.12. P.1–8. ES2003, doi:10.2205/2011ES000507.

3. **Young, I.R., Rosenthal, W., Ziemer, F.** A Three-dimensional analysis of marine radar images for the determination of ocean wave directionality and surface currents // J. Geophys. Res. – 1985. – V.90. – P. 1049 – 1059.

4. **Nieto-Borge, J. C., Hessner, K., Jarabo-Amores, P., de la Mata-Moya, D.** Signal-to-noise ratio analysis to estimate ocean wave heights from X-band marine radar image time series // Radar, Sonar & Navigation. IET. – 2008. – V.2(1). – P. 35 – 41.

5. **WaMoS II** Wave and Surface Current Monitoring System Operating Manual. Version 4.0 // OceanWaveS GmbH. Germany. – April 2003. – 146 p.

ИНТЕРКАЛИБРАЦИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ДОПЛЕРОВСКИХ ПРОФИЛОГРАФОВ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ И ДРУГИХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ НА ГИДРОФИЗИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ ИО РАН

Зацепин А. Г.[1], Баранов В. И.[2], Куклев С. Б.[2], Мельников В. А.[1], Пиотух В. Б.[1], Сильвестрова К. П.[1]

[1]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-63-92, vmelnikov@ocean.ru
[2]Южное отделение, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 8(86141)2-80-69, 353467, Просторная, 1 г, Геленджик-7, Россия, kuklev@ecologpro.ru

On the basis of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology infrastructure, the modern measuring network, with the use of contact and remote sensing methods is under the continuous development. Currently, scientific facility includes the coastal weather stations, temperature and sea level sensors, a variety of hydrophysical probes. Various satellite and reanalyses data are used. An important objective is an inter-calibration of the contact and remote gauges. With this aim, current measurements were obtained using simultaneously three types(WH Sentinel 600 kHz, AWAC Continental 1000kHz, SonTek 250 kHz) of acoustic Doppler current profilers (ADCP), and recently developed current meter «Sea Horse». Several regression, spectral and wavelets methods were used to intercompare instruments. The analysis indicates that the three of four different systems provide generally similar results, excluding SonTek. «Sea Horse» provided rather accurate current measurements. Comparing of satellite and in-situ measurements indicates comparatively good correspondence for SST and poor resemblance of SLH and wind data.

В рамках ряда проектов по исследованию системы атмосфера–море в северо-восточной части Черного моря, на базе Южного отделения Института океанологии РАН, создан опытный морской Полигон (далее Полигон), предназначенный для автоматизированного мониторинга гидрометеорологических параметров [1].

В настоящее время на полигоне установлены три долговременные измерительные станции (ADCP и термокоса на каждой), а также сканирующий зонд-профилограф «Аквалог», Проводятся регулярные СТД

зондирования на нормальных к берегу разрезах и пространственные съёмки поля скорости течений при помощи буксируемого ADCP. Используется спутниковая информация и данные различных реанализов (NCEP/NCAR, Skiron): поля ТПМ (PathFinder, v5, динамические аномалии уровня моря (AVISO), ветер на поверхности моря (QuikSCAT), а также массив высот рельефа земной поверхности и дна моря "ETOPO-1" Составлены продолжительные(с 1935 г. по н. вр.) ряды метеоэлементов на некоторых береговых региональных метеостанциях. Данные, поступающие от различных измерительных средств, накапливаются в береговом архиве, что позволяет проводить калибровку спутниковых измерений, а также тестирование результатов численного моделирования.

Интеркалибрация различных контактных и дистанционных измерителей является важной составляющей в организации долговременных измерений типа Гидрополигона. Мотивация работы очевидна: – получить доказательства адекватности измерительной информации, а также данных дистанционных зондирований, различных реанализов, и моделирований.

Проведены сравнения данных различных доплеровских измерителей течений, температуры на поверхности моря, уровня моря, ветров по измерениям in-situ, спутниковых данных и различных реанализов. В период 27-30 сентября 2014 г. был проведён тестовый эксперимент по взаимной интеркалибрации акустических допплеровских профилографов (ADCP): 1. WH Sentinel 600 кГц фирмы RD Instuments (далее – RDI). 2. AWAC Continental 1000 кГц фирмы Nortek (далее – AWAC). 3. ADP SonTek 250 кГц фирмы SonTek (далее – SonTek),, а также измерителя скорости «Sea Horse», разработанного В. Шереметом.. Приборы были установлены на траверзе Голубой бухты (г. Геленджик) на расстоянии около 800 м от береговой линии на расстоянии друг от друга ~ 30 м.

Методы обработки

Использовались различные методы сравнения временных рядов различных измерителей с применением регрессионного, спектрального и вейвлет анализов. Для визуализации векторных рядов (ветер, течения) хорошо подошли прогрессивные векторные диаграммы. На начальном этапе для распаковки бинарных записей ADCP использовалось «штатное» программное обеспечение фирм-производителей. Для данных RDI проводилась отбраковка и коррекция сбойных измерений и интерполяционное сжатие данных.

Вторичная обработка для каждого ADCP выполнялась при помощи специализированных программ, которые выполняли все необходимые

для «унификации» рядов операции, включая: считывание, обрезку, дополнительную коррекцию, синхронизацию разноформатных записей, вычисление береговых направлений и поворот осей координат, построение стандартизированных наборов изображений и графиков, градуировку осей и шкал яркости, вычисление некоторых дополнительных и обобщающих параметров, запись их в файлы для последующего использования.

Интеркалибрация измерителей. Результаты

Развертки профилей направлений течений показывают высокое сходство данных RDI и AWAC и практически полную инверсию значений для SonTek. Это свидетельствует о близости показаний встроенных компасов приборов RDI и AWAC и очень значительное отличие показаний компаса SonTek, которое привело фактически к инверсии направлений течений по данным SonTek.

Значения вдольбереговой компоненты для пар данных RDI-AWAC очень хорошо соответствуют друг другу, а для нормальной компоненты – несколько хуже, но они также в значительной степени совпадают. Соответствие для пар данных RDI-SonTek является довольно удовлетворительным для вдольбереговой компоненты, и недостаточно удовлетворительным для нормальной компоненты скорости. Значения нормальной скорости по данным SonTek часто существенно превышают величины по данным RDI, что не может быть объяснено особенностями течений, а, видимо, обусловлено аппаратными эффектами.

Наиболее достоверные данные о вертикальной компоненте скорости дает RDI. Все значения сосредоточены в диапазоне ±2 см/с, а временная развертка сигнала логически обусловлена. Вместе с тем, значительная «пестрота» картины свидетельствует о том, что значения скорости вертикальной компоненты находятся на пределе чувствительности и уровня шумов RDI.

Данные вертикальной скорости AWAC «сдвинуты» в сторону положительных значений примерно на 2.5 см/с, причём корреляция с данными RDI практически не прослеживается. Данные SonTek наоборот, смещены в сторону отрицательных значений примерно на 2–3 см/с, а корреляция с данными RDI и AWAC также практически не прослеживается, хотя наблюдается заметная временная изменчивость сигнала, превышающая уровень шумов. Основной предварительный вывод: RDI и AWAC работают достоверно, а показания SonTek существенно отличаются.

Точности спутниковой информации и данных реанализов оценивались посредством прямого сравнения с данными измерений in situ, объём которых обычно существенно меньше. Спутниковые данные ТПМ,

уровня моря, ветра, а также рассчитанные параметры реанализа NCEP/NCAR сравнивались с данными контактных измерений. В частности, измерения ТПМ, выполненные с причала в Голубой бухте, были сопоставлены с синхронными измерениями ТПМ на Геленджикской метеостанции. В свою очередь, ТПМ на метеостанции и спутниковая ТПМ в ближайшей к метеостанции точке с координатами 44.6N, 37.9E, также сравнивались. В результате, была получена оценка с.к. ошибки в спутниковых измерениях температуры ~0.5°C. Спутниковые аномалии уровня моря в ближайшей к метеостанции точке (44.5N, 38.0E), на расстоянии 3.7 морских миль, не соответствуют данным уровня моря на метеостанции. Данные о ветре на метеостанции и по реанализу также оказались рассогласованными. Сравнение по температуре с данными реанализа в ближайшем к метеостанции квадрате 44–45N, 37.5–38.5E показало, что в период 1980–2009 гг. среднемесячные ТПМ на поверхности моря отличаются по с.к.о. на 0.98°C, причем имеется систематическое завышение ТПМ по реанализу на DT=0.24°C по сравнению с метеостанцией. Ежесуточные значения различались даже больше: в 1990 г. – с.к.о (T)=2.52°C, DT=0.79°C; в 2005 г. – с.к.о (T)=2.90°C, DT=0.27°C. Таким образом, только среднемесячные значения ТПМ можно считать согласованными.

Указанные несоответствия требуют дальнейшего изучения.

Следуя традициям ИО РАН в исследовании Мирового океана методом гидрофизических полигонов, происходит постепенное накопление измерительной информации дистанционными и контактными методами на акватории Черного моря, а также рассматриваются архивные данные измерений в экспедициях ИО РАН с учётом современных спутниковых данных, что позволяет получить более полное и надежное представление о мезомасштабных гидрофизических процессах в океане.

Работа выполнена при финансовой поддержке Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество», договор №10/2013/РГО-РФФИ, Соглашения № 14.604.21.0044 с Минобрнауки РФ, Программы 23 РАН, проекта РНФ 14-17-00382, а также грантов РФФИ №№14-05-00159, 14-05-00792.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Зацепин А. Г.** и др. Подспутниковый полигон для изучения гидрофизический процессов в шельфово-склоновой части Черного моря // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2014. Т.50. №1. – С.16–29.

УДК 551.46

ЛАЗЕРНО-ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ ОКЕАНА

Долгих Г. И.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский Океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук
Тел.: +7(423)2312352; Факс: +7(423)312573;
E-mail: dolgikh@poi.dvo.ru

The report discusses the technical means to study the ocean, created based on the modern laser-interference methods intended for studying the physics of the origin, development and transformation of oceanological processes of infrasonic range.

В настоящее время изучение физики возникновения, развития и трансформации волновых и не волновых океанологических процессов широкого диапазона частот проводят различными методами с использованием разнообразных технических средств. При этом основная масса экспериментальных работ проводится только с использованием океанологических систем и комплексов, устанавливаемых в водной среде, и полученные таким образом экспериментальные данные интерпретируются как данные, описывающие поведение только различных океанологических процессов без привязки к процессам, происходящим в соседних геосферах. Это приводит к ошибочным представлениям о возникновении и развитии различных процессов широкого диапазона частот. Так, например, изучение природы вариаций термоструктуры шельфовой области Японского моря в диапазоне периодов 5–15 мин, выполненных только с применением гидрофизических приёмных систем, приписывают так называемым короткопериодным морским внутренним волнам. На основе полученных экспериментальных данных строятся рабочие модели, которые могут быть глубоко ошибочные, так как при проведении экспериментальных работ не учитывалось то, что первоисточник данных процессов может находиться вне гидросферы. Как показывают результаты наших комплексных исследований, выполненных с применением лазерных нанобарографов [1, 2] и лазерных измерителей вариаций давления гидросферы [2, 3], выделенные из записей термогирлянд

квазипериодические колебания рассматриваемого диапазона периодов обусловлены колебаниями атмосферного давления соответствующего периода, хотя раньше механизм их возбуждения приписывался морскому приливу.

С целью изучения природы первоисточников колебаний и волн широкого диапазона частот, особенно инфразвукового (от 0 (условно) до 20 Гц) и низкочастотного звукового (20 Гц – 1 кГц) диапазонов, на морской станции ТОИ ДВО РАН «м. Шульца» был создан лазерно-интерференционный комплекс, состоящий из трёх лазерных деформографов, лазерного нанобарографа, лазерного измерителя вариаций давления гидросферы и лазерного гидрофона. Основные технические характеристики комплекса: 1) точность измерения вариаций смещений земной коры – 0.01 нм, 2) точность измерения вариаций атмосферного и гидросферного давлений – 1 мПа, 3) рабочий диапазон частот от 0 (условно) до 1 кГц. Дополнительно комплекс оснащён GPS-приёмником миллиметровой точности, трёхкомпонентным сейсмоприёмником, метеостанцией, ADSP и другими гидрофизическими зондами, термогирляндами и термокосами, тремя низкочастотными гидроакустическими излучателями с центральными рабочими частотами на 245, 33 и 22 Гц, аппаратно-программным вычислительным комплексом, системой точного времени, маломерным флотом. Полученные экспериментальные данные после предварительной обработки помещаются в ранее организованную базу данных для дальнейшей обработки и интерпретации.

В результате проведённых многолетних исследований на данном лазерно-интерференционном комплексе изучена природа возникновения квазипериодических морских процессов диапазона короткопериодных морских волн (5-15 мин) указывающих на их основное атмосферное происхождение. Изучена физика возникновения «Инфраграватационного шума Земли» (30 с – 10 мин), происхождение которого связано как с морскими инфрагравитационными волнами, так и с атмосферными процессами соответствующих периодов. Исследована пространственно-временная структура гидроакустического поля шельфовой области Японского моря низкочастотного звукового диапазона. Определены собственные колебания отдельных бухт шельфовой области Японского моря и изучены их нелинейные свойства. Установлена величина нагружающего воздействия морских процессов (нагоны, приливы, ветровые и внутренние волны, собственные колебания бухт) на уровень деформации земной коры данного региона. Исследована природа амплитудно-частотных вариаций ветровых морских волн при их движении по шельфовой области моря. Отработана методика пеленгации источников мор-

ских волновых процессов низкочастотного звукового диапазонов на основе использования двухкоординатного лазерного деформографа. Разработан инверсионный метод изучения структуры и состава морской коры на основе использования низкочастотных гидроакустических излучателей, создающих в воде сложные фазоманипулированные сигналы, и береговых лазерных деформографов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Долгих Г. И., Долгих С. Г., Ковалев С. Н., Корень И. А., Новикова О. В., Овчаренко В. В., Окунцева О. П., Швец В. А., Чупин В. А., Яковенко С. В.** Лазерный нанобарограф и его применение при его изучении баро–деформационного взаимодействия // Физика Земли. – 2004. – №8. – С.82–90.

2. **Долгих Г. И., Привалов В. Е.** Лазеры. Лазерные системы. Владивосток: Дальнаука, 2009. – 202 с.

3. **Долгих Г. И., Долгих С. Г., Ковалев С. Н., Швец В. А., Чупин В. А., Яковенко С. В.** Лазерный измеритель вариаций давления гидросферы // Приборы и техника эксперимента, 2005. – №6. – С.56–57.

УДК 551.468.3

МОНИТОРИНГ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИБРЕЖНО-МОРСКОЙ ЗОНЫ БУХТЫ РЫНДА, ОСТРОВ РУССКИЙ

Толстоконева Е. Н.

Институт химии Дальневосточного отделения РАН,
Пр. 100-летия Владивостока, 159, 690022, г. Владивосток,
8(423) 2-311-889, 2312590, referent@ich.dvo.ru

The paper contains the results of monitoring studies of climatic conditions and some hydrochemical parameters waters of the bay Rynda (Sea of Japan), which is a Marine stationed corrosion station of Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. The features of a typical monsoon climate of the study area, seasonal flows, temperature and ice period area. It is determined that the salinity of the seawater close to the ocean (34 ‰).

Мониторинг гидрохимического и метеорологического состояния прибрежно-морской среды включает в себя разработку технологий, позволяющих оперативно производить сбор, обработку и анализ данных для прогнозирования возможных глобальных изменений климата и предупреждения техногенных катастроф. В создании этих технологий используются данные космического зондирования, информационные базы данных и банки знаний, результаты моделирование природных процессов, интерактивная визуализация природных явлений в реальном режиме времени. Мониторинг гидрохимического, метеорологического состояния и видеомониторинг прибрежно-морской зоны проводится на Русском острове в бухте Рында залива в Петра Великого (Японское море) и является одной из программ Дальневосточного морского коррозионного центра Института химии Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Бухта Рында, одна из мелководных акваторий залива Петра Великого, располагается на западном берегу острова Русский между мысом Кошелева и мысом Михайловского. Бухта характеризуется слабым антропогенным загрязнением и хорошим водообменом за счет циклического, приливно-отливного и сгонно-нагонного течений. По наблюдениям, проведенным на акватории бухты Рында в зимний период, скорости течений не превышают 3 см/с. Максимальная скорость течений за период январь-март составила 4 см/с при северо-западном направлении. Течения, в основном, направлены по сектору, ограниченному северо-западным и западным направлением. Суммарная повторяемость этих течений составила 75 %. В летний период, когда гидрологические факторы, ветер, приливы, береговой сток, более активно влияют на формирование течений, скорости их возрастают до 5–10 см/с, а с учетом орбитальных движений воды во время волнения, поверхностные скорости могут достигать 80 см/с. Смешение вод двух сталкивающихся течений, холодного с севера Приморского и ответвления теплого южного Курасио, порождает разнообразие животного и растительного водного мира. Состав обрастателей бухты Рында относится к низко бореальной биогеографической подобласти. На этапах сукцессии в макрообрастании (соответственно и на корпусах судов портового флота) доминируют: гидроиды (Obelia longissima, Tubularia indivica, Hydroides enzoensis, Dexiospira alveolata), водоросли (красные, бурые, зеленые); усоногие раки (Balanus crenatus, Balanus improvisus); трубчатые черви (Hydroides enzoensis, Dexiopira alveolata), мидии (Mytilus edulis) [1].

Лед в бухте Рында местного происхождения, обычно появляется в конце третьей декады ноября и уже в начале декабря образуется устой-

чивый припай. Площадь припая быстро нарастает и уже к середине декабря вся акватория бухты покрыта неподвижным льдом толщиной 15–25 см. Характер припая ровный, приливные трещины в припае ориентированы параллельно берегу. В зависимости от суровости зимы толщина припая может меняться в широких пределах. В мягкие зимы она достигала 50–55 см, в средние 70–75 см, в суровые 95–105 см. Наибольшая толщина льда наблюдалась в конце февраля – начале марта. Бурное таяние льда происходит со второй декады марта, однако припай окончательно разрушается лишь в первой декаде апреля. Как показали наблюдения амплитуды вертикальных колебаний льда, в среднем составили 15 см, в максимуме 25 см. Основным фактором, влияющим на дрейф льда, является ветер. Весной, когда дрейфующий лед обладает наибольшей толщиной и прочностью, скорость дрейфа в основном зависит от силы юго-восточного ветра. В связи с защищенностью акватории бухты грядами сопок острова Русский, скорости этих ветров на высоте поверхности льда не могут превышать 8–10 м/с, а наибольшая расчетная скорость дрейфа льда составила не более 30 м/с. В этот период средняя соленость воды около 33–34 ‰. Среднесуточная температура воздуха находится в пределах минус 1,5 ^{o}C – плюс 1,5 ^{o}C, средняя температура воды минус 0,5^{o}C – плюс 0,5^{o}C, наибольшая толщина льда составляет 60–70 см.

В бухте Рында осуществляются постоянные метеорологические наблюдения за температурой и влажностью воздуха, освещенностью, давлением, уровнем солнечной радиации и другими метеопараметрами с использованием цифрового автоматического метеокомплекса La Crosse WS 2500. Программное обеспечение, входящее в метеорологический комплекс, передает данные на веб-сервер, адрес сайта *mksmeteo.ru*. Вся информация, полученная метеостанцией, представлена на отдельных страницах сайта в виде отчетов и графиков. Осуществляется видеомониторинг акватории бухты Рында, данные которого в виде архива сохраняются в базе данных компьютера. Климат Русского острова, где располагается Морская коррозионная станция, соответствует основным характеристикам муссонного влажного климата Приморья, особенностями которого являются сезонная смена преобладающих ветров и четкий выраженный годовой ход метеорологических параметров. В течение года вероятность северных ветров и суммарная вероятность южных и юго-восточных примерно одинаковая (34–35%).

За время существования Морской коррозионной станции был накоплен достаточный объем гидрохимических и метеорологических наблюдений, которые можно считать эталонными данными при проведении мониторинга (табл. 1).

Данные мониторинга солености морской воды в районе морского испытательного стенда в бухте Рында в течение основных гидрологических сезонов: апрель–июнь (весна), июль–сентябрь (лето), октябрь–декабрь (осень), январь–март (зима), установленных для прибрежных акваторий региона, выявили ее стабильность и равномерность до глубины 5–6 м. Наибольшая соленость воды была отмечена в зимний период в придонном слое. Такая же тенденция проявляется и в заливе Петра Великого, где показатели солености зимой достигают 33–35 ‰ [2, 3].

Таблица 1. Некоторые климатические параметры района бухты Рында, остров Русский

Показатель	Средний	Максимальный	Минимальный
Температура воздуха, °С	4,6	30,6	-25,6
Относительная влажность, %	71	95	45
Температура воды, °С	8,6	25,5	-2,0
Общая соленость, ‰	32,89	35,48	27,50
pH	-	8,25	7,60
Концентрация ионов Cl, ‰	18,66	19,78	14,85
Общая концентрация кислорода, мг/л	10,31	14,10	7,60
ОВП, мВ	205,6	209,0	193,0

Исследование кислотности атмосферных осадков были начаты в 2009 г. Измерения проводилось pH-метром МУЛЬТИТЕСТ ИПЛ-311 с использованием комбинированного стеклянного электрода. Все измерения pH были сгруппированы по периодам – холодный период (ноябрь–март) и теплый период (апрель–октябрь).

В теплый период 2009–2011 гг. значения pH варьировали в пределах слабокислой реакции среды, pH 5,56-5,77. Холодные периоды 2009–2011 гг. характеризовались реакцией среды близкой к нейтральной с pH 6,43–6,81. В теплый период 2012–2013 гг. значения pH находились в пределах 4,43–5,88, реакция среды колебалась от слабокислой до кислой. В это время было зафиксировано регулярное выпадение кислотных осадков с pH менее 5,65. В холодный период 2012–2013 гг. значения pH колебались в пределах 4,91–6,91, от кислых до близких к нейтральным. При анализе взаимосвязи между температурой воздуха и кислотностью атмосферных осадков в течение проведенных исследований, была выявлена тенденция понижения температуры в период выпадения кислотных осадков.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Корякова М.Д., Никитин В.М., Супонина А.П., Харченко У.В**. Обрастание и биокоррозия высоколегированной стали в бухте Золотой рог // Защита металлов. 2002. -Т. 38, № 5.- С. 544 – 548.

2. **Рачков В. И.** Характеристика гидрохимических условий вод Амурского залива в тёплый период года // Известия ТИНРО, 2002. – Т. 131. – С. 65–77.

3. **Тищенко П. Я., Талли Л. Д., Лобанов В. Б. и др**. Сезонная изменчивость гидрохимических свойств Японского моря // Океанология. 2003. – Т. 43. № 5. – С. 720–732.

УДК 000.00

МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАМКАХ БАЙКАЛЬСКОГО НЕЙТРИННОГО ПРОЕКТА

Аврорин А. Д.[1], Аврорин А. В.[1], Айнутдинов В. М.[1], Баннаш Р.[7], Белолаптиков И. А.[2], Богородский Д. Ю.[3], Бруданин В. Б.[2], Буднев Н. М.[3], Гапоненко О. Н.[1], Гафаров А. Р.[3], Голубков К. В.[1], Гресс Т. И.[3], Данильченко И. А.[1], Джилкибаев Ж.-А. М.[1], Домогатский Г. В.[1], Дорошенко А. А.[1], Дячок А. Н.[3], Жуков В. А., Загородников А. В.[3], Зурбанов В. Л., Кебкал К. Г.[7], Кебкал О. Г.[7], Кожин А. В.[4], Конищев К. В.[2], Константинов Е. Н.[3], Коробченко А. В.[3], Кошель Ф. К.[1], Кошечкин А. П.[1], Кулепов В. Ф.[5], Кулешов Д. А.[1], Ляшук В. И.[1], Миленин М. Б.[5], Миргазов Р. А.[3], Хонз З.[2], Осипова Е. Р.[4], Панфилов А. И.[1], Паньков Л. В.[3], Перевалов А. А.[3], Плисковский Е. Н.[2], Розанов М. И.[6], Рубцов В. Ю.[3], Рябов Е. В.[3], Скурихин А. В.[4], Смагина А. А.[2], Суворова О. В.[1], Табоненко В. А.[3], Таращанский Б. А.[3], Фиалковский С. В.[5], Шайбонов Б. А.[2], Шеифлер А. А.[1], Широков А. В.[3], Яковлев С. А.[7]

[1]Институт ядерных исследований РАН Россия, 117312, Москва, просп. 60-летия Октября, 7а

[2]Объединенный институт ядерных исследований, Россия, 141980, Дубна Московской обл., ул. Жолио-Кюри, 6

[3]Иркутский государственный университет, Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1

[4]НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Московского государственного университет им. М.В. Ломоносова, Россия, 119992, Москва, Воробьевы горы, 1, стр. 2
[5]Нижегородский государственный технический университет, Россия, 603950, Н. Новгород, ул. Минина, 24
[6]Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Россия, 190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3
[7]EvoLogics GmbH, Deutschland, D-13355 Berlin, Ackerstrasse 76

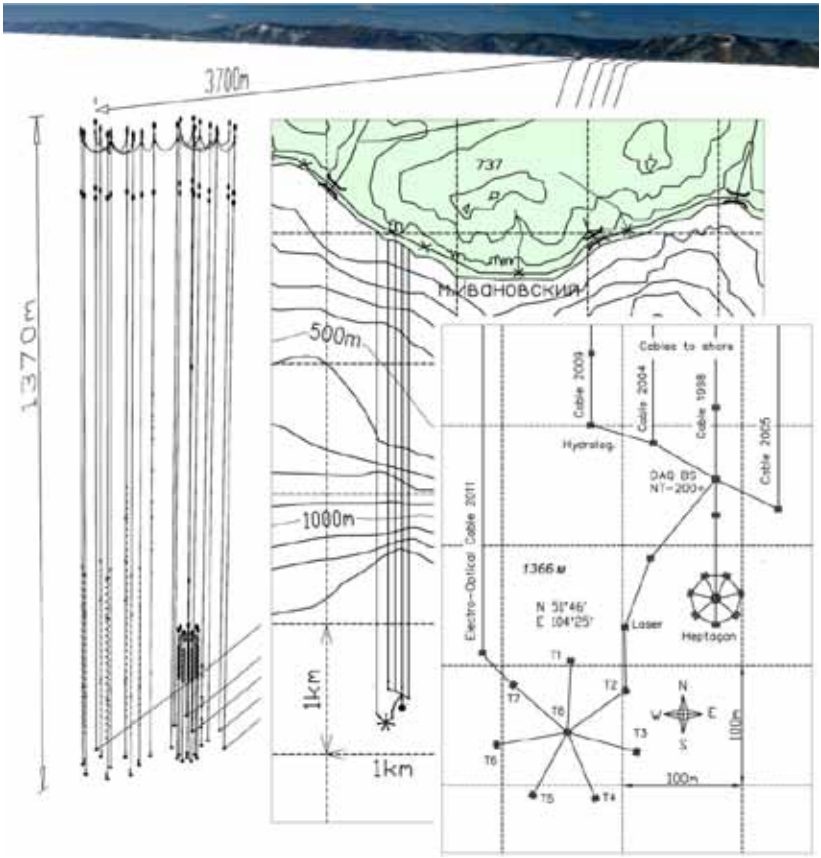
We present technologies and measurement techniques, developed in framework of the Baikal neutrino project, which open unique opportunities for interdisciplinary studies of the lake Baikal.

В 2011 году сотрудничество БАЙКАЛ приступило к поэтапному развертыванию глубоководного нейтринного телескопа НТ-1000 с эффективным объемом ~ 1 км^3. Телескоп размещается в оз. Байкал на глубине 1370 м в 4 км от берега в непосредственной близости от действующего детектора НТ200+. Первая очередь телескопа будет состоять из 12 кластеров по 8 однотипных гирлянд оптических модулей в каждом (в гирлянде – 24 оптических модуля НТ1000 сгруппированные в 2 секции) [1, 2]. Электропитание и информационная связь с береговым центром осуществляется по оптико-электрическим донным кабелям. На рис. 1 показана конфигурация НТ-1000 на апрель 2015 года.

Как механическая конструкция, глубоководный нейтринный телескоп (НТ) представляет собой «каркас» из притопленных буйковых станций (ПБС), на котором на больших глубинах в прочных стеклосферах размещены фотоприемники (ФЭУ) и приборные модули. На глубинах 30–40м ПБС кластеров соединены между собой подповерхностными кабелями, а с береговым центром – оптико-электрическими донными кабельными линиями. Фотоприемники регистрируют световые импульсы (черенковское свечение), инициируемые космическими частицами высоких и сверхвысоких энергий и продуктами их взаимодействия со средой. Для корректной интерпретации полученных с фотоприемников данных, необходимо знать их текущие координаты с точностью 0,2м и осуществлять непрерывный мониторинг по всему объему установки поля скорости звука и первичных оптических характеристик глубинных вод и светового фона.

В состав комплекса НТ-1000 (как и ранее – в НТ-200) неотъемлемой частью входит гидрологическая ПБС, на которой размещено оборудование для мониторинга гидрооптических и ряда других параметров глу-

бинных вод озера [3]. В окрестности нескольких километров от НТ развернуты автономные ПБС для наблюдения за динамикой осадконакопления и температуры глубин Байкала, а также с единственной в мире системы с длинной (на базе дно–поверхность – 1250м) антенной для измерения вертикальной компоненты естественного электрического поля [4, 5].



T1-T8 – ПБС кластера, *Heptagon* – ПБС телескопа НТ-200, *Laser* – ПБС с глубоководным наносекундным лазером, *Hydrolog.* – Гидрологическая ПБС

Рис. 1. Комплекс притопленных буйковых станций НТ-1000 с донными кабельными линиями – конфигурация 2015 г. (общий вид и карта-схема)

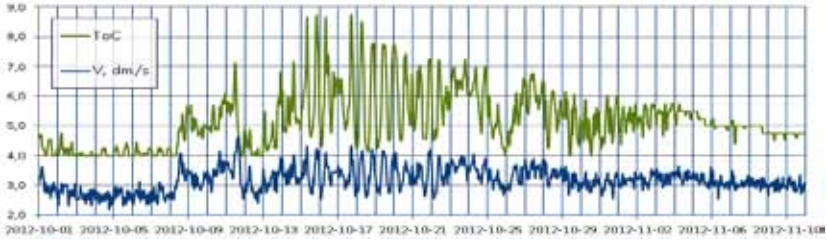


Рис. 2. Температура Т, ºС (верхний график) и скорость течения V, дм/с (оценка) на глубине 15…20 м на ПБС-Геофизика; октябрь 2012 года, N 51,72 E 104,41 – 8,8 км на юг от м. Ивановский

Такая мультифункциональность позволяет наблюдать и сравнивать между собой результаты разнородных измерений. Так поля температур, свечения вод, показателей поглощения и рассеяния света, скорости звука непосредственно связаны с движением масс воды, которые можно оценить из контролируемых гидроакустикой перемещений ПБС [6, 7].

Как пример, показательны данные акселерометра и термометра, которые входят в состав измерительного комплекса, расположенного на автономной буйковой станции, установленной на расстоянии 8,5 км южнее м. Ивановский – т.н. Геофизической ПБС (рис. 2). Выделяются активный период в сентябре-октябре 2012г и спокойный в остальное время; в активный период температура испытывала периодические вариации от 4ºС до 8ºС с периодом ≈ 13,7 часов (инерционные колебания на широте 51,78º имеют период 15,3 ч.); точность этих измерений невысока – для температуры 0,25ºС и для скорости ≈ 0,04 м/с^2 (не считая несовершенства модели буя в потоке и погрешности около 0,1 м/с за счет неопределенности начальной вертикали акселерометра); синхронно с температурой изменяется наклон блока электроники станции до 2,5º, что соответствует скорости течений на горизонтах 15–20 м с амплитудой до 0,3 м/с. Такая синхронность указывает на активное вертикальное и горизонтальное перемешивание слоев воды, по крайне мере, на верхних десятках метров озера. С учетом измеренных на других станциях профилей температуры и смещений ПБС течения представляются в виде вихря с теплым и холодным фронтами, который длительно существует на термоклине и, перемешивая его, делает термоклин более контрастным.

Прямые измерения течений Байкала ввиду его особенностей требуют изощренного арсенала скоростемеров, но при целевом финансировании такая программа реализуема.

Байкальский нейтринный телескоп, помимо решения актуальных астрофизических задач, является новым инструментом с уникальными возможностями в области гидрофизики озера Байкал. Подобные программы имеют все глубоководные нейтринные телескопы – Антарес [8], NESTOR (LAERTIS project) [9], KM3NeT [10] – они сопоставимы по информативности с подводными обсерваториями MARS [11], NEPTUNE [12] и являются новым этапом развития наук о мировом океане.

Работа поддержана в рамках задания №2014/51 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности по базовой части государственного задания Минобрнауки России (код проекта 1366).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Домогацкий Г. В.** Байкальский нейтринный эксперимент // УФН, 2011. Т.181. № 9. С.984–989.

2. **Avrorin A. V. et al**. The prototyping/early construction phase of the BAIKAL-GVD project // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 742. 2014. PP. 82–88.

3. **Буднев Н. М.** Оптика Байкала // Природа, 2012. №4. С.11–22.

4. **Буднев Н. М.** Лаборатория в водах Байкала // Природа, 2011. №12. С. 11–22.

5. **Коротаев С. М., Шнеер В. С., Гайдаш С. П., Буднев Н. М., Миргазов Р. Р., Халезов А. А., Панфилов А. И.** Эффект и предвестники землетрясения 27.08.2008 г. в вертикальной компоненте электрического поля в озере Байкал // Докл. Акад. наук. – 2011. – Т. 438. № 5. – С. 683–686.

6. **Айнутдинов В. М. и др.** Гидроакустическая система измерения координат Байкальского Нейтринного Телескопа НТ-200 // Акустический журнал. 2005. Т. 51. N. 6. С. 721–731.

7. **Аврорин А. В. и др.** Гидроакустическая система позиционирования экспериментального кластера нейтринного телескопа масштаба кубического километра на озере Байкал // Приборы и Техника Эксперимента. 2013. No 4. С. 87–97.

8. http://antares.in2p3.fr/Environment/index.html

9. http://www.inp.demokritos.gr/nestor/programme/laertis__scientific_programme.htm

10. http://www.km3net.org/associated.php

11. http://www.mbari.org/mars/default.html

12. http://www.neptunecanada.ca/

УДК 551.465

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛОТНОСТНОГО ТЕЧЕНИЯ НА НАКЛОННОМ ДНЕ С ШИРОКИМ ПИКНОКЛИНОМ

Плаксина М. А.[1], Пиголкина А. М.[2], Елкин Д. М.[2], Зацепин А. Г.[2]

[1]Московский физико-технический университет (государственный университет), Институтский переулок, 9, Долгопрудный, Московская область, 8(905)758-14-02, babjamming@gmail.com
[2]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-63-92, zatsepin@ocean.ru

The aim of the work is to study in laboratory conditions the process of more dense water cascading along a smooth sloping bottom in the linearly stratified environment (wide pycnocline).

Цель работы – исследование процесса опускания по гладкому наклонному дну более плотных вод в окружающей линейно-стратифицированной жидкости (ЛСЖ) – в широком пикноклине. Ранее подобные эксперименты проводились в двуслойно-стратифицированной жидкости, т.е. при наличии скачка плотности (резкого пикноклина), разделяющего два слоя воды различной плотности [1, 2]. В данном исследовании донное гравитационное или, плотностное течение (ПТ) создавалось с помощью источника более соленой воды постоянного расхода, расположенного в верхней части наклоненного бассейна (150´ 12´ 45 см^3), заполненного линейно-стратифицированным водным раствором соли (NaCl). Процесс распространения двумерного (однородного по ширине бассейна) ПТ, визуализированного индикатором «тимол синий», вниз по наклонному дну и его перемешивания с щелочными водами широкого пикноклина, в результате которого продукт перемешивания окрашивался в темно-синий цвет, регистрировался видеокамерой.

В данном сообщении основное внимание уделяется:

1) описанию феноменологии процесса;

2) поиску его количественных закономерностей на основе анализа размерности и физических соображений.

Выполненные опыты показали, что существует 2 режима распространения ПТ по наклонному дну в линейно-стратифицированной жидкости. Первый реализуется при достаточно больших значениях угла наклона дна к горизонтали (условно, при á> 5^0). В этом случае, при пе-

ремешивании вод ПТ с окружающими происходит образование интрузий, внедряющихся в толщу СЖ. В результате этого ПТ теряет свою массу и исчезает не доходя до глубины равновесной плотности. Этот режим будем называть режимом анти-вовлечения, в отличие от режима вовлечения, реализующегося при небольших углах наклона дна (условно, при $á < 5^0$), или же при распространении ПТ по горизонтальному дну. В режиме вовлечения продукты перемешивания ПТ с окружающими водами не отделяются от него в виде интрузий, а вовлекаются в ПТ, увеличивая его массу по мере распространения. При этом ПТ либо достигает уровня равновесной плотности и отделяется от дна в виде квазимонолитной интрузии, либо достигает дна бассейна, при его достаточно большой начальной плотности. Оба режима ПТ, по-видимому, наблюдаются в природных условиях. Один из вопросов исследования заключается в поиске критерия перехода от первого режима ко второму. Крутизна склона является необходимым, но не достаточным условием такого перехода. Важную роль играет также степень стратифицированности окружающих вод.

Визуальные наблюдения ПТ при достаточно большом угле наклона дна ($á > 5^0$) позволили выявить важную роль процесса увлечения вышележащих менее плотных вод в распространение вместе с ПТ вниз по склону. В СЖ это приводит к появлению менее плотной жидкости под более плотной. Такая система является конвективно неустойчивой. В результате, непосредственно над ПТ образуется область конвективно-сдвиговой турбулентности, которая приводит к эрозии плотностного течения. В этой области формируются воды промежуточной плотности, которые в виде интрузий распространяются в толщу СЖ вдоль поверхностей равной плотности (рис. 1). Как уже указывалось выше, вследствие этого, ПТ теряет массу и исчезает, не достигая глубины равновесной плотности. Задачей исследования является не только качественное, но количественное описание этого процесса.

При небольших углах наклона дна конвективное перемешивание – слабое, а интрузии не распространяются далеко в толщу СЖ и примыкают к ПТ. В результате они оказываются вовлеченными в ПТ, которое также является источником турбулентности из-за сдвиговой неустойчивости течения. Предельным случаем является распространение ПТ по горизонтальному дну. При этом образование интрузий и их отделение от ПТ является невозможным, поскольку поверхности равной плотности также располагаются горизонтально.

Можно заключить, что режим ПТ в СЖ на наклонном дне зависит от соотношения двух источников турбулентности, один из которых распо-

ложен над верхней границей ПТ и обусловлен конвективной неустойчивостью, а другой – внутри ПТ и обусловлен сдвиговой неустойчивостью. Если первый источник больше второго – происходит эрозия плотностного течения и отток его массы в толщу СЖ в виде интрузий. Если второй источник сильнее – масса ПТ увеличивается за счет вовлечения в него вышележащей СЖ.

Количественные закономерности ПТ в СЖ на наклонном дне зависят от следующих размерных параметров, включающих начальное значение редуцированного ускорения силы тяжести $g_0' = g\beta S_0$, где g – ускорение свободного падения, β – коэффициент соленостного сжатия, S_0 – начальная соленость ПТ и, в то же время, перепад солености между ПТ и верхним пресноводным слоем, q_0 – двумерный начальный расход ПТ (расход источника), Δt – продолжительность действия источника, ν – кинематическая вязкость воды, $N=[(g/\rho_0)\partial\rho/\partial z]^{0,5}$ – частота Вяйсяля-Брендта в широком пикноклине, где ρ_0 –плотность воды в верхнем пресноводном слое, $\partial\rho/\partial z \approx \beta\Delta S/\Delta z = \beta\Delta S/(\Delta L_0 \sin\alpha)$ – вертикальный градиент плотности, ΔS – перепад солености в широком пикноклине, ΔL_0 – протяженность широкого пикноклина вдоль наклонного дна, α – угол наклона дна бассейна к горизонтали.

Пусть ΔL –расстояние, на которое проникает ПТ в СЖ вдоль наклонного дна, а S – площадь двумерных интрузий, т. е. продуктов перемешивания ПТ и СЖ проникших в толщу СЖ. Предположим, что эти два параметра определяются выражениями (1) и (2), соответственно:

$$\Delta L = C_1(\mathrm{Re}, \tau, \sin\alpha)\times\Delta L_0\,(S_0/\Delta S) \qquad (1),$$

$$S = C_2(\mathrm{Re}, \tau, \sin\alpha)\times q_0\Delta t(\Delta S/S_0) \qquad (2).$$

Смысл этих выражений заключается в следующем. Если распространение ПТ вдоль наклонного дна происходит без перемешивания с СЖ, то: $\Delta L=S_0\Delta L_0/\Delta S$, C_1=1, and S = 0, C_2 = 0. Поскольку процесс распространения ПТ сопровождается перемешиванием с СЖ и образованием интрузий: $0<C_1<1$ and $C_2>0$. Задачей эксперимента является проверка зависимостей (1) и (2), а также определение функциональных зависимостей C_1 и C_2, от определяющих безразмерных параметров: $\mathrm{Re} = q_0/\nu$ – числа Рейнольдса, $\tau = N\Delta t$ – безразмерного времени действия источника и $\sin\alpha$.

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

а) t=12 s

б) t=25 s

в) t=60 s

г) t=15 min

Рис. 1. Видеокадры придонного ПТ (S_0=25‰), взаимодействующего с широким пикноклином (ΔS = 10 ‰, ÄL$_0$H1 m); t – текущее время работы источника. Воды СЖ – красные. Воды ПТ и интрузии – синие. Видеокамера и бассейн наклонены одинаково к горизонтали

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Зацепин А. Г., Гриценко В. А., Кременецкий В. В., Поярков С. Г., Строганов О. Ю.** Лабораторное и численное исследование процесса распространения плотностных течений по склону дна // Океанология. – 2005. – Т.45. – №1. – С.5–15.

2. **Gusev A. V., Liapidevskii V. Yu., Zatsepin A. G., Nizov S. S.** Dynamics of downslope gravity currents in stratified fluid // Paper in: «Fluxes and structures in fluids». Selected papers (eds. – Yu. D. Chashechkin, V.G. Baydulov. IPM RAS. – Moscow. – 2006. – P.155–159.

УДК 551.46

МАЛОГАБАРИТНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ МЕЖДУ АВТОНОМНЫМ ЗОНДОМ-ПРОЗРАЧНОМЕРОМ И ПЕРСОНАЛЬНЫМ КОМПЬЮТЕРОМ

Григорьев А. В., Артемьев В. А., Таскаев В. Р.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)129-27-81,
anatoliigav@mail.ru, artemiev195@yandex.ru

A small-sized device for operational exchange of information between autonomous transmissometer and a personal computer is described.

В течение многих лет в Институте океанологии им. П.П.Ширшова РАН (ИО РАН) разрабатываются и эксплуатируются прозрачномеры для измерения показателя ослабления света морской водой. С их помощью выполнены многочисленные измерения в различных районах Мирового океана (Баренцево, Карское, Белое, Черное, Балтийское, Средиземное моря, море Лаптевых, северная и южная Атлантика, Южный океан).

В настоящее время разработана новая серия прозрачномеров – «ПУМ». Использование современных электронных компонентов позволило уменьшить оптическую измерительную базу, существенно упростить оптическую схему, уменьшить габариты и вес прозрачномеров без ухудшения точности измерений [1, 2].

«ПУМ-А» [2] разрабатывался как автономный прибор, предназначенный для работы в составе комплекса автономной заякоренной буйковой станции – системы «Аквазонд». Питание прибора осуществлялось от встроенных батарей, а данные измерений записывались на энергонезависимую память. Малый вес, отсутствие подводного кабеля, и полная автономность прибора позволили использовать его одновременно с другими зондирующими приборами или самостоятельно, в том числе при проведении измерений с малых плавсредств и при погружении водолазов. Основное неудобство при работе с «ПУМ-А» – считывание информации, для чего требовалось снять прибор с рамы погружной конструкции, переместить в лабораторное помещение и через пульт управления подсоединить к персональному компьютеру. Для устранения этого недостатка разработано устройство переноса данных (УПД), позволяющее

считывать данные с прозрачномера на промежуточный носитель прямо на палубе, не снимая прибора. Для работы с УПД в прозрачномере «ПУМ» [1] переработаны блок энергонезависимой памяти, интерфейсная часть и установлена кассета с аккумуляторами питания; он также стал автономным и в настоящее время эксплуатируется как «ПУМн».

УПД смонтировано в брызгозащищенном корпусе (рис. 1) с прозрачной крышкой. Способы взаимодействия прибора «ПУМн» с персональным компьютером отображены на рис. 2. Управляет работой УПД малопотребляющий микроконтроллер «ATXMega32», запись информации производится на энергонезависимую память «DATAFlash» фирмы ATMEL.

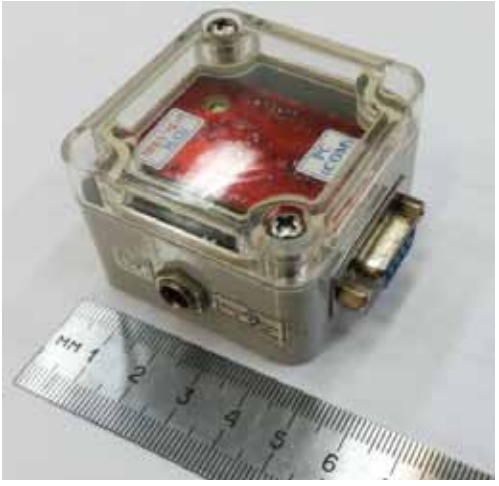


Рис. 1. Устройство переноса данных в сборе

Основная нагрузка работы устройства лежит на программном обеспечении, которое обеспечивает минимально необходимые требования к действиям оператора: подключение и отключение устройства к прибору «ПУМн» или персональному компьютеру. Надёжность передачи и сохранность данных обеспечивается алгоритмом взаимодействия устройства передачи данных с программной частью прибора «ПУМн» и программным обеспечением приборного комплекса для персонального компьютера. Программное обеспечение УПД позволяет обслуживать и конфигурировать прибор «ПУМн» без его подключения к персональному компьютеру.

Рис. 2. Функциональная схема взаимодействия прибора «ПУМн» и персонального компьютера с использованием интерфейсного кабеля или через устройство переноса данных

Предварительная настройка необходимой конфигурации и выбора режима работы УПД осуществляется на персональном компьютере. Скачивания данных осуществляется в автоматическом или ручном режиме по желанию оператора. В этих режимах работы, УПД соединяется с «ПУМн» кабелем с гермораъемом. В режиме измерений, герморазъём на заднем фланце «ПУМн» закрыт резиновой заглушкой. При считывании заглушка снимается и вместо нее устанавливается разъем соединительного кабеля. Конструкция герморазъема допускает соединение без предварительного осушения контактов, что позволяет производить считывание информации при любых погодных условиях.

После включения прибора внешним магнитом, на УПД подается напряжение питания с «ПУМн» и оно выдает команду на приём данных из энергонезависимой памяти прибора в УПД. При передаче данных на плате УПД под прозрачной крышкой загорается красный светодиод, после окончания считывания, цвет меняется на зеленый. Время считывания данных зависит от объема информации и составляет в среднем 15...30 секунд на одно зондирование. После окончания считывания УПД автоматически переводит прибор в спящий режим и его можно отключить. Кабель УПД отсоединяется, и заглушка прибора устанавливается на место. «ПУМн» готов к дальнейшей работе.

Устройство переноса данных в лабораторном помещении через интерфейсный кабель подсоединяется к USB или COM порту персонального компьютера, по команде оператора производится считывание данных с энергонезависимой памяти УПД. При необходимости можно изменить алгоритм его работы.

Для контроля работоспособности и проведения юстировочных работ, а так же при работе в лабораторном режиме, прибор «ПУМн» через дополнительный интерфейсный модуль подключается к персональному компьютеру, при этом информация оператору поступает в реальном масштабе времени в графическом режиме самописца.

Преимущества использования УПД:

– Нет необходимости переносить прибор непосредственно к персональному компьютеру, что позволяет осуществлять скачивание измеренных данных на палубе судна.

– Возможность изменения конфигурации прибора через УПД, минуя непосредственную связь с персональным компьютером.

– Упрощенный алгоритм взаимодействия оператора с УПД, позволяющий быстро перенести данные измерений в персональный компьютер.

– Повышается электробезопасность при проведении работ по скачиванию данных и обслуживанию прибора ПУМн.

– Малые габариты устройства переноса данных и его автоматический режим работы позволяют минимизировать неудобства при проведении комплексных работ с другими приборами и их операторами.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-50-00095), предоставленного Институту океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Artemiev V.A, Taskaev V.R., Burenkov V.I., Grigoriev A.V.** Multipurpose compact transmissometer. Proceedings of III International Conference “Current Problems in Optics jf Natural Waters (ONW 2005) Ed. I. Levin and G. Gilbert. St. Peterburg. 2005.

2. **Artemiev V.A., Grigoriev A.V., Vortman M.I.** Advanced meter of the seawater beam attenuation coefficient. Current problems in optics of natural waters (OWN`2011). St-Petersburg, Russia, September 8-11, 2011. Proceeding. 173–178.

УДК 551.41.06

ИЗМЕРЕНИЯ ПОДВОДНОГО ШУМА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ В 2013-2014 ГГ.

Шатравин А. В., Кочетов О. Ю., Цибульский А. Л., Веденев А. И.

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

Short-time continuous measurements of underwater sound were carried out in summer and in autumn of 2013 and 2014 at two locations at the north-eastern Black Sea shelf near the Gelendzhik Bay. Some results of basic analysis of the collected data are presented as well as a brief description of future work in the area.

В 2013–2014 гг. на шельфе Черного моря в районе Геленджика была проведена серия записей подводного шума. Использовались две автономные донные гидроакустические станции конструкции ИО РАН. Каждый год записи производились непрерывно в течение нескольких дней летом (конец июня) и нескольких дней осенью (конец сентября – начало октября) в двух точках. Одна из станций устанавливалась на выходе из Голубой (Рыбацкой) бухты на глубине ~20 м, вторая – в районе Геленджикской бухты восточнее Толстого мыса на глубине ~30 м. Частота дискретизации для всех записей была равна 32 кГц, за исключением осенних 2013 г. в районе Геленджикской бухты (16 кГц). АЧХ использованных гидрофонов плоская в диапазоне от 40 Гц до 30 кГц. Запись в диапазоне 40 Гц–16 кГц позволяет регистрировать звук от большинства основных источников как антропогенного, так и природного происхождения. Объем записей составляет 1247 часов.

Основной целью измерений был сбор данных об уровне подводного шума в акватории в рамках Индикатора 11.2.1 MSFD-GES [1], в соответствии с которым наблюдению подлежат тренды среднегодовых уровней в треть-октавных частотных полосах с центральной частотой 63 и 125 Гц. Хотя полученных за время наблюдений 2013 и 2014 гг. данных, очевидно, недостаточно для проведения исчерпывающего анализа акустической обстановки в районе в соответствии с рекомендациями Дескриптора 11, собранная информация представляет ценность в каче-

стве начальной для многолетнего мониторинга, который в дальнейшем будет организован в данном районе. Также, полученные данные могут выступать в качестве проверочного набора данных для математического моделирования с целью оценки среднегодовых трендов уровней подводного звука, что допускается Индикатором 11.2.1.

Район исследований характеризуется высоким уровнем антропогенного шума, в первую очередь вызванного интенсивным судоходством (близко расположен Новороссийский порт) и разного рода кратковременной активностью.

На рис. 1 представлены графики уровня среднеквадратичного звукового давления в трех частотных диапазонах (1/3-октавные полосы с центральной частотой 63 Гц и 125 Гц и весь диапазон регистрации). Осреднение проводилось по 30-минутным периодам. Многочисленные ярко выраженные пики вызваны влиянием кратковременных сигналов от близкорасположенных источников высокой интенсивности – в основном, проходящих судов. В ночное время в целом уровни существенно ниже средних.

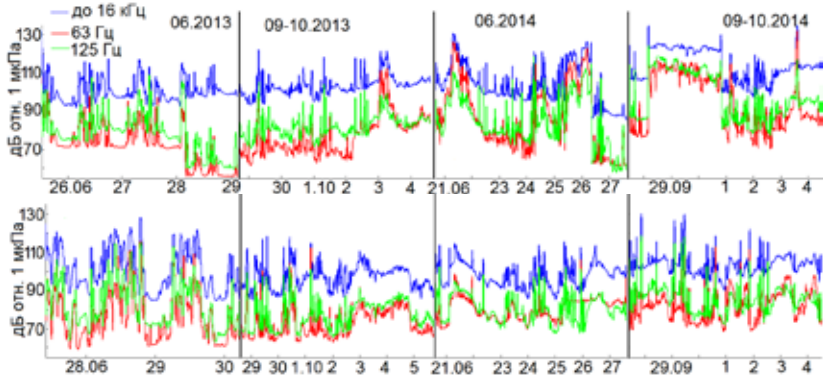


Рис. 1. Зависимость уровня среднеквадратичного звукового давления от времени для постановок в районе Голубой бухты (верхний график) и Геленджикской бухты (нижний график)

На рис. 2 представлены средние третьоктавные спектры звукового давления для всех постановок (как 2013, так и 2014 гг.). В трёх случаях из четырёх (за исключением летних постановок в районе Геленджикской бухты) уровни 2014 г. существенно выше уровней 2013 г. практически по всему диапазону частот. Причины этого явления, возможно, бу-

дут установлены после более детального анализа данных с привлечением дополнительной информации, например подробных сведений о судоходстве в районе наблюдений и данных метеорологических наблюдений.

Изменчивость спектральных характеристик данных между годами, сезонами и районами регистрации чрезвычайно высока, и «общей картины» выявить невозможно. Значения уровней среднеквадратичного звукового давления для всех постановок приведены в табл.1. В каждой тройке первое значение – уровень в 1/3-октавной полосе с центральной частотой 63 Гц, второе – в полосе 125 Гц, третье – во всем диапазоне регистрации. Все уровни в дБ отн. 1 мкПа.

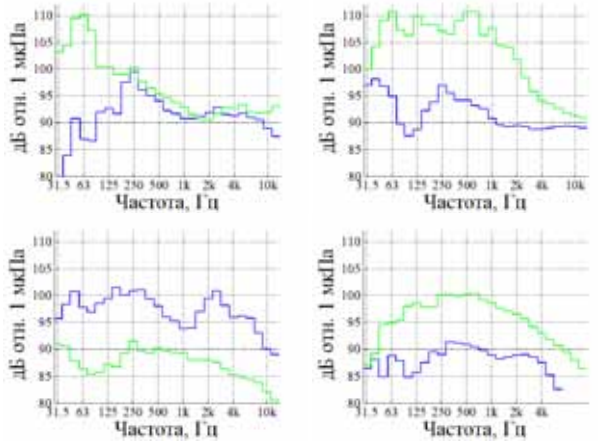


Рис. 2. Третьоктавные спектры звукового давления (Голубая бухта сверху, Геленджикская бухта снизу, синий – 2013 г., зеленый – 2014 г., слева данные летних постановок, справа – осенних)

Максимальная продолжительность непрерывной записи у используемых станций составляет около 7 суток при оптимальных параметрах записи (частота дискретизации 32кГц, 16 бит). Данное ограничение вызвано объёмом внутреннего накопителя и сроком жизни используемых источников питания. В настоящее время в Лаборатории ШиФ проводится проектирование модернизированного гидроакустического регистратора, который позволит значительно увеличить максимальный срок записи в автономном режиме. Базовым модулем регистратора является универсальное ядро, состоящее из микроконтроллера ARM STM32F407 и модуля АЦП TexasInstruments ADS1672 (delta-sigma, 24 бита, частота

дискретизации до 180кГц). Плата микроконтроллера оснащена интерфейсами Ethernet и MicroSD, что позволяет реализовать как кабельное подключение для передачи данных, так и автономное сохранение записи во внутренний накопитель. Для внутреннего накопителя имеется возможность подключения до 3-х карт памяти формата MicroSD общим объёмом до 192Гб, что в комбинации с современной энергоэффективной электроникой позволит проводить непрерывную автономную запись при тех же параметрах (32кГц, 16 бит) в течение месяца.

Таблица 1. Уровни среднеквадратичного звукового давления для всех постановок

	2013 Гол.	2014 Гол.	2013 Гелен.	2014 Гелен.
Лето	87, 93, 100	110,100, 117	98, 99, 115	86, 87, 105
Осень	95, 87, 109	111,110, 123	89, 86, 105	95, 99, 114

Кроме того, в рамках проекта развитиия гидрофизического полигона в Южном Отделении ИОРАН ведётся работа по созданию на основе предлагаемого модуля кабельного гидроакустического регистратора. Такой регистратор будет подключен через Ethernet к концентратору, обеспечивающему питание приборам полигона и их коммутацию с идущим на берег оптоволоконным кабелем. На берегу поступающие от регистратора данные будут накапливаться, и проходить предварительную обработку в выделенном сервере с накопителем достаточной ёмкости (~4Тб). Для организации эффективного хранения данных планируется упаковка файлов методом lossless-компрессии для аудиоданных FLAC.

Предварительная обработка данных будет включать в себя построение спектрограмм и автоматическое определение событий по заданным критериям (превышение заданных уровней шума, крики животных и т. п). Специальная программа будет реализовывать графический интерфейс оператора для доступа к данным, где можно будет просматривать и прослушивать выбранные фрагменты или скачивать данные.

Работа выполнялась при поддержке международного проекта PERSEUS в части проведения экспедиционных работ и гранта РНФ №14-50-00095 в части обработки данных измерений и подготовки сообщения к печати.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Van der Graaf AJ et al**. (2012). European Marine Strategy Framework Directive – Good Environmental Status (MSFD GES): Report of the Technical Subgroup on Underwater noise and other forms of energy.

СОЗДАНИЕ ЭКСПОЗИЦИИ «ГЛУБИНА» В МУЗЕЕ МИРОВОГО ОКЕАНА

Стрюк В. Л.

Музей Мирового океана 236006, г. Калининград, наб. Петра Великого(4012 53-89-15 (103),stryukv@rambler.ru

The paper presents the goals and the tasks of DEPTH permanent exhibition that will be housed in a new depository building of the Museum of the World Ocean. There will be undersea vehicles; hydrological, hydro-physical, optical, acoustic and meteorological devices; collections of navigation tools, spyglasses, binoculars, ship watches and steering wheels on the 800 km² site.

В настоящее время Музей Мирового океана готовит экспозицию «Глубина», которую планируется представить в новом фондохранилище, строительство должно завершится в конце 2015 года. На площади около 800 кв. м будут размещены подводные аппараты, гидрологические, гидрофизические, оптические, акустические, метеорологические приборы; коллекции навигационных приборов, подзорных труб и бинокле́й, судовых часов, штурвалов.

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН и Музей Мирового океана связывает многолетнее плодотворное сотрудничество, мы считаем себя подразделением знаменитого института, сохраняя самое известное научно-исследовательское судно в мире XX века легендарный «Витязь». В музее мы показываем достижения отечественной океанологии, прежде всего ученых Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН.

Главная задача человечества в XXI веке должна состоять в том, чтобы принять на себя всю полноту ответственности за окружающую среду. Ключевой путь этого процесса – защита и углубление понимания океанов. Первое должно осуществляться полномасштабным и неукоснительным сохранением живых и неживых ресурсов, а второе – широким развитием научных исследований.

Мы не в состоянии эффективно сохранять то, чего не понимаем полностью, тем более управлять этим, – очень многое в том, что касается океанов, остается для нас неизвестным. С помощью современных технологий мы можем исследовать не более 2 % толщи океана. Но даже с этими технологиями понадобятся еще несколько поколений, чтобы исследовать океан так, как мы изучили сушу.

Все, что мы знаем об Океане, стало известно благодаря океанографическим приборам и специальной технике, а точность нахождения научно-исследовательского судна в море обеспечивалась навигационными приборами.

Цель экспозиции – показать разнообразие океанографической и навигационной техники, эволюцию их развития, принципы и результаты работы.

Из цели экспозиции вытекают задачи:

– максимально представить коллекции океанологической, навигационной и морской техники из фондов музея;

– показать роль отечественной науки по созданию океанологической и навигационной техники;

– рассказать о значении поверки, калибровки, сличения с эталонами океанологических и морских приборов;

– рассказать о важности формирования многолетних рядов измерений;

– представить современное состояние океанологической и морской техники, перспективы ее будущего развития.

Тематическая структура экспозиции

Введение. Покорение глубины

Раздел 1. Подводные аппараты изучают глубины Океана

Тема 1. ПОА «Пайсис»

Тема 2. ГОА «Мир»

Тема 3. ПА «Тетис»«

Тема 4. Современные аппараты для исследования океанских глубин

Тема 5. История отечественных подводных обитаемых аппаратов

Тема 6. История зарубежных подводных обитаемых аппаратов

Тема 7. Выдающиеся гидронавты

Тема 8. Телеуправляемый аппарат «ГНОМ»

Раздел 2. Изучение водной толщи Мирового океана

Тема 1. Приборы для отбора проб воды

Тема 2. Приборы для измерения гидрофизических характеристик

Тема 3. Приборы для измерения оптических характеристик

Тема 4. Приборы для измерения акустических характеристик

Тема 5. Оборудование для фото и видеосъемки

Тема 6. Современные приборы и оборудование

Тема 7. Выдающие ученые

Раздел 3. На палубе научного судна

Тема 1. Приборы для определения судна в океане

Тема 2. Приборы и оборудование для метео- и аэрологических измерений

Тема 3. Подзорные морские трубы и бинокли
Тема 4. Оборудование для радиосвязи
Тема 5. Приборы для определения времени
Тема 6. Штурвалы
Раздел 4. Тренажер маломерного судна
Примерное содержание каждой темы
– историческая справка
– схема работы прибора
– коллекция соответствующих предметов
– электронный этикетаж

В экспозиции будут расположены старинные якоря, археологические находки и пр.

На рис. 1, 2, 3 представлены фрагменты разработанного эскизного проекта для экспозиции «Глубина».

Рис. 1. Фрагмент эскизного проекта экспозиции «Глубина»

Коллекция морской и океанологической техники Музея Мирового океана насчитывает более 2400 единиц хранения. В настоящее время научные приборы и оборудование представлены на многих музейных объектах, прежде всего на НИС «Витязь» (рис. 4).

Рис. 2. Фрагмент эскизного проекта экспозиции «Глубина»

Рис. 3. Фрагмент эскизного проекта экспозиции «Глубина»

Рис. 4. Мемориальная гидрологическая лаборатория на НИС «Витязь»

Музей Мирового океана продолжает комплектование коллекции морской и океанологической техники и обращается к ученым, инженерам, специалистам, руководителям конструкторских бюро, заводов, институтов, высших учебных заведений и других организаций с просьбой помочь музею в сборе коллекций.

II. ПРИБОРЫ И ТЕХНОЛОГИИ РЕСУРСНЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОКЕАНЕ

УДК 543.06

МОНИТОРИНГ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ В РАЙОНАХ ВОЗМОЖНОГО ЗАТОПЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЁРНОГО МОРЯ

Халиков И. С.[1], Пронин А. А.[2], Римский-Корсаков Н. А.[2]

[1] ФГБУ «НПО «Тайфун», 249038, г. Обнинск, ул. Победы, (484)3971884, khalikov@rpatyphoon.ru

[2] Учреждение Российской академии наук Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва, Нахимовский пр., 36.

The paper presents the results of monitoring water medium contamination in the regions of possible chemical warfare agents dumping in the northeastern area of the Black Sea.

Химическое оружие использовалось в различной форме на протяжении всей мировой истории, начиная с древних цивилизаций в Китае, Индии, Египте, Вавилоне. Первая и Вторая Мировые войны привели к накоплению значительных количеств химического оружия (ХО). В больших количествах ХО было захоронено на суше и затоплено в морях, однако от этого оно не стало менее опасным для природной среды.

Затопление химического оружия в морях является хорошо зарегистрированным фактом во всём мире. Внимание к проблеме выяснения реальной опасности затопленного ХО обострилось в конце 80-х – начале 90-х годов прошлого столетия, когда с окончанием холодной войны появились возможности обсуждения этой проблемы и принятия политических решений. Дальше всего в понимании проблемы и сведениям о затоплении химического оружия удалось продвинуться в обследовании районов захоронения ХО, произведенного Германией и затопленного странами антигитлеровской коалиции, в Балтийском море и Датских проливах (материалы HELCOM).

Имеется ряд публикаций в средствах массовой информации о возможном затоплении химического оружия в районе Крымского полуост-

рова и северо-восточной части Черного моря в годы Великой Отечественной войны. Не исключено, что бочки, контейнеры и снаряды с «устаревшими» отравляющими веществами первого поколения, запасы которых в Советском Союзе были весьма значительны, могли затапливать в Черном море и после войны. В советское время информация о затоплениях ХО замалчивалась, а после распада СССР официальные документы по этому поводу были утеряны.

Достоверных данных и официальной информации о времени, местах, характере, объемах и состоянии затопленного ХО в северо-восточной части Черного моря не имеется. Однако, затопленное ХО может представлять потенциальную опасность для биоценозов Черного моря и требует проведения в местах его захоронения комплекса геохимических и океанологических работ для изучения и контроля в мониторинговом режиме.

В настоящий момент имеется два ключевых вопроса:

– Были ли факты затопления химического оружия в северо-восточной части Черного моря?

– Насколько опасно ХО для морской среды?

Цель настоящей работы: обследование химического загрязнения морской среды (вода, донные отложения) в районах возможного затопления химического оружия (свалки взрывчатых веществ №87–91) в северо-восточной части Черного моря.

Пробы воды и донных отложений отбирались в районах предполагаемого захоронения химического оружия №87-91 (рис. 1), определенных МЧС России и ИО РАН им. П.П. Ширшова, во время экспедиций на НИС «Спасатель Прокопчик» (1997, 1998, 2000 г.), НИС «Акванавт» (2006, 2008 г.) и НИС «Денеб» (2010, 2011 г.).

Работы по отбору проб проводились в режиме дрейфа с помощью гидрологической лебедки. При отборе проб придонной воды использовалось оборудование: батометр придонный БП-120; кассетный батометр «Rosetta»; батометр Нискина (5 л). При отборе проб донных отложений использовалось оборудование: дночерпатель «Океан-0,25», «Океан-0,1»; дночерпатель Ван-Вина; пробоотборник донных отложений коробчатый (ОДОК); грунтовая геологическая трубка (трубка Лаури-Ниемисто). Количество отобранных проб приведено в табл. 1.

Задача выбора оптимальной аналитической методики определения загрязняющих веществ и соответствующего прибора решается с учетом типа определяемых соединений, требуемых пределов обнаружения, доступности, квалификации персонала и, наконец, стоимости.

Мышьяк, один из наиболее опасных загрязнителей, может являться надёжным «маркером» (индикатором) разгерметизации затопленного

химического оружия и утечки мышьяк-содержащих отравляющих веществ (AsOB) в окружающую среду.

Рис.1. Схема районов работ

Таблица 1. Общее количество отобранных проб донных отложений и придонной воды в районах свалок взрывчатых веществ №87-91

Район работ	Глубина отбора, м	Донные отложения, пробы	Придонная вода, пробы
№87	450-600	24	10
№88	950-1400	25	11
№89	1000-1750	16	12
№90	450-950	18	16
№91	900-1300	17	15

Поскольку захоронению предположительно могло подвергаться химическое оружие первого поколения (люизит, адамсит, дифенилхлорарсин, дифенилцианарсин, арсиновое масло, иприт, хлорацетофенон) пробы предварительно анализировались методами инверсионной вольтамперометрии (ИВА), атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) и рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) на валовое содержание мышьяка и далее методом газовой хроматографии (ГХ) и хромато-масс-спектрометрии (ХМС) на содержание компонентов химического оружия.

Концентрации мышьяка в пробах придонной воды, определенные методом ИВА и ААС, не превышают ПДК (30 мкг/л для санитарно-бытового и 10 мкг/л для рыбохозяйственного назначения) и составляют менее 2 мкг/л. В пробах придонной воды обследуемых районов № 87–91 Черного моря содержание растворенного мышьяка составляет от 0,5 до

1,4 мкг/л. При восстановленных условиях (Eh придонной воды обследованных районов № 87-91 Черного моря <100 милливольт, pH 7.1–7.4), арсенит должен быть преобладающим составом мышьяка. Арсенит будет присутствовать как недиссоциированная кислота в виде H_3AsO_3. Арсениты являются более токсичными, чем арсенаты.

Методом РФА и ААС экстремально высоких концентраций мышьяка в пробах донных отложений обследуемых районов не обнаружено. Концентрация As составила от 7,5 до 15,8 мг/кг (среднее 11,3 мг/кг). Средняя концентрация валового мышьяка в донных отложениях районов отбора проб №87, №88, №89, №90, №91 составила соответственно 10,3 (n=24); 10,0 (n=25); 12,3 (n=16); 12,7 (n=18) и 11,5 (n=17) мг/кг. Наблюдается средняя прямая корреляция в пробах обследованных районов между содержанием железа и мышьяка (r=0.68), между Mn и As (r=0.48), Ni и As (r=0.47).

Уровни концентраций мышьяка в указанных пробах районов № 87–91 немного превышают российские ОДК (2-10 мг/кг). Однако, следует отметить, что содержание мышьяка в глубоководных районах Черного моря примерно в 2 раза меньше чем во впадинах Балтийского моря и в 4 раза ниже, чем в глубоководных районах Белого моря. Согласно зарубежным системам (Норвегия, Швеция) 5-уровневой классификации загрязненности донных отложений мышьяком, все пробы осадков, отобранные в районах №87-91, относятся к 1 классу («незагрязнены/незначительно загрязнены»).

При определении люизита и продуктов его трансформации методами ГХ и ХМС предложен новый дериватизирующий агент 2-меркаптоэтанол. Компонентов химического оружия иприта, люизита и продуктов трансформации, а также хлорацетофенона в предполагаемых местах затопления не обнаружено. Проведенное обследование не выявило влияния предполагаемых захоронений химического оружия на загрязнение морской среды. Современные знания не предвидят токсикологической угрозы от затопленного ХО.

Необходимо получить официальные данные по затоплению химического оружия в Черном море; провести поиск архивных материалов о времени, характере, местах и количестве проведенных захоронений химического оружия; разработать эффективные системы обнаружения емкостей с ХО (бочек, контейнеров, снарядов) на поверхности дна и в толще осадков; проводить мониторинг загрязнения морской среды во всех районах предполагаемого захоронения химического оружия на регулярной основе, для того чтобы исключить в дальнейшем возникновение непредвиденных чрезвычайных ситуаций.

УДК 551.46.08

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДВУХЧАСТОТНОГО ПРОФИРОВАНИЯ МОРСКОГО ДНА СИГНАЛОМ С ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Каевицер В. И., Захаров А. И., Смольянинов И. В.

ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН., г. Фрязино, Московской обл., пл. Б.А.Введенского, д. 1, тел. факс +7(496)565-24-00, kvi43@mail.ru

Study of echo signals phase and amplitude properties in the experiments of Kola bay seabed profiling using profiler with chirp signal was conducted, first examples of new classification features are presented.

Акустическое высокочастотное профилирование широко используется для классификации донных отложений в морских изысканиях под подводное строительство [1]. В последнее десятилетие появляются новые средства профилирования и методы дистанционной классификации донных отложений, например, использующие информацию о фазе эхо-сигналов [2]. Для выявления новых устойчивых признаков с целью дистанционной классификации донных отложений, дополнительно к тем, которые были предложены в работе [2] в данной работе проведены исследования информативности амплитуды и фазы эхо-сигналов при двухчастотном когерентном профилировании морского дна на примере района Кольского залива.

Возможность двухчастотного зондирования реализована нами благодаря специализированной обработке эхо-сигналов профилографа, излучавшего сигнал с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ сигнал), частота которого менялась в полосе f_{dev} от 7.5 кГц до 3.75 кГц на интервале длительности импульса T. Для этого был применен алгоритм раздельной обработки эхо-сигналов из нижней половины 3.75 кГц – 5.375 кГц и верхней половины спектра 5.375 кГц – 7.5 кГц. Эталонный ЛЧМ сигнал перед сверткой умножался на соответствующие взвешивающие окна:

$$C_u(t) = \begin{cases} 1, & 0 \le t < \dfrac{T}{2} \\ 0, & \dfrac{T}{2} \le t < T \end{cases} \text{ и } C_l(t) = \begin{cases} 0, & 0 \le t < \dfrac{T}{2} \\ 1, & \dfrac{T}{2} \le t < T \end{cases}.$$

Средняя длина волны для первого варианта обработки равна 22 см, а для второго – 31 см. На рис. 1 приведено изображение профиля участка дна при использовании нижней половины спектра сигнала.

На рис. 2 приведено изображение профиля участка дна при использовании верхней половины спектра зондирующего сигнала. Отличие в амплитудных изображениях слоев на изображениях, полученных на разных частотах, очевидно. На условно «низкочастотном» изображении первые слои не столь ярки, как на «высокочастотном». Кроме того, в первом случае видно большее количество слоев, в том числе и на больших глубинах (например, слой на глубине 140 м). Отличия этих изображений по степени глубины профилирования могут быть объяснены меньшим поглощением акустических волн в водной среде и грунте на низких частотах. По этой же причине изображение на рис. 1 менее зашумлено.

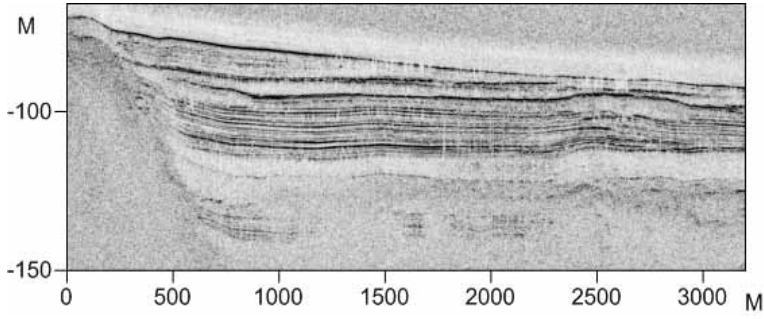


Рис. 1. Профиль участка дна на низкой частоте

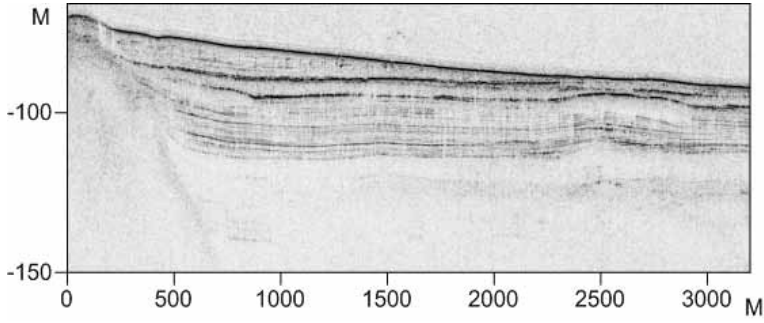


Рис. 2. Профиль участка дна на высокой частоте

Для исследования информативности фазовых характеристик эхосигналов профилографа при классификации донных отложений было проанализировано распределение по дальности приращения разности фаз сигналов на «низкочастотной» и «высокочастотной» картинке. Этот подход подобен двухчастотному радиопросвечиванию плазмы в радиофизических исследованиях космоса, дисперсионной интерферометрии, но реализован для гидролокационного случая, что позволяет расширить возможности зондирования сред прохождения сигнала и классификации исследуемых сред. Разностно-фазовую картину можно сформировать, вычтя поэлементно фазы отсчетов «низкочастотного» изображения $g_l(t)$ из фаз отсчетов «высокочастотного» изображения $g_u(t)$ и скомпенсировав фазовый набег по времени за счет отличия их центральных частот на величину $f_{dev}/2$:

$$\varphi(t) = \arg\left\{ g_u(t)\, g_l^*(t) \exp\left(\frac{j 2\pi f_{dev} t}{2} \right) \right\} \qquad (1)$$

Более удобно эту разностно-фазовую картину представить в виде приращений разности фаз по строке $\Delta\varphi(t)$. На рис. 3 приведена информация о набеге по запаздыванию (производной) разности фаз между эхосигналами на акустических изображениях, полученных при использовании «высокочастотной» и «низкочастотной» составляющих зондирующего сигнала. Стрелкой здесь показана линия, соответствующая линии дна, которая хорошо видна на рис. 1 и 2. При равенстве скоростей сигналов из разных частей спектра разность фаз отсчетов двух изображений вдоль строки в формуле 1 должна быть равна нулю. Наблюдаемые на рисунке вариации можно объяснить частотной зависимостью условий распространения зондирующего гидролокационного сигнала.

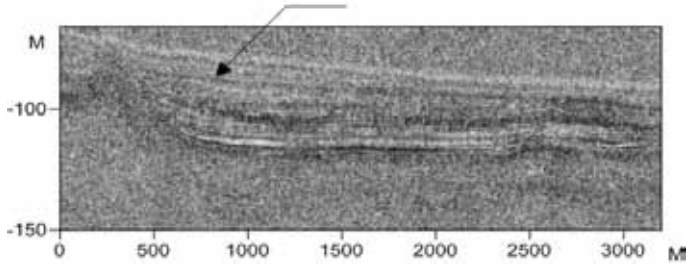


Рис. 3. Изображение для производной разности фаз сигналов по запаздыванию для изображений, построенных при использовании «высокочастотной» и «низкочастотной» составляющих зондирующего сигнала

Полученные результаты указывают на неслучайный характер измеряемых величин, они открывают возможность формирования с помощью статистической обработки новых устойчивых признаков для целей дистанционной классификации донных отложений в дополнение к тем, которые были предложены в работе [2].

В результате проведенной работы показана перспективность дальнейших исследований по возможной дистанционной классификации донных отложений с помощью двухчастотного зондирования, намечены пути решения задачи, как для шельфовых, так и для глубоководных районов морей и океанов.

Работа выполняется по гранту рффи №14-07-00398.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Каевицер В. И., Разманов В. М.** Дистанционное зондирование морского дна гидролокационными системами со сложными сигналами. // УФН. – №2. – 2009. – С. 218–224.

2. **Гуляев Ю. В., Захаров А. И., Каевицер В. И.** Дистанционные измерения вариаций скорости звука в донных отложениях по данным акустического профилирования. // ДАН. – Т. 413. – № 2. – С. 207–210.

УДК 551. 311.8+551.214.8

ПРОЯВЛЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ ПРИ ГИДРОЛОКАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В АКВАТОРИИ ТАМАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Каевицер В. И., Кривцов А. П., Разманов В. М., Смольянинов И. В.

ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.,г. Фрязино, Московской обл., пл. им. академика Б.А.Введенского, д. 1, тел. +7(496)565-26-70, факс +7(496)565-24-07, ilia159@mail.ru

Examples of probable profiling of mud volcanoes around Tamansky peninsula are presented.

Летом 2011 г. в районе Таманского полуострова Институтом радиотехники и электроники РАН проводились испытания гидролокационного комплекса в составе профилографа диапазона 6 кГц, с полосой частот 4 кГц и интерферометрического ГБО диапазона 240 кГц, с полосой час-

тот 27 кГц с ЛЧМ зондирующими сигналами. Схема измерений состояла из сетки параллельных галсов в акватории Черного моря, между мысом Тузла и мысом Панагия. Сообщения об извержении Голубицкого грязевого вулкана подтолкнули к поиску подобных объектов по результатам проведенных работ. Обнадеживало то, что как наземные, так и подводные грязевые вулканы редко бывают одиночными; чаще они группируются в грязевулканические провинции разных размеров, и Таманский полуостров относится к одной из них [1].

Поиск начался с целенаправленного анализа результатов профилирования. И действительно, в результате анализа обнаружилось, что примерно в 12 случаях наблюдались фрагменты, которые могут быть связаны с вулканическими проявлениями. Примеры таких фрагментов профилирования приведены на рис. 1. Эти изображения содержат признаки вулканической деятельности – наличие кратера или разрыв, размытие приповерхностного сильно отражающего слоя, складчатую структуру, характерную для зон сжатия, а также проявления газонасыщенности, что может быть проявлением грязевого вулканизма. В таблице 1 приведены координаты обнаруженных проявлений.

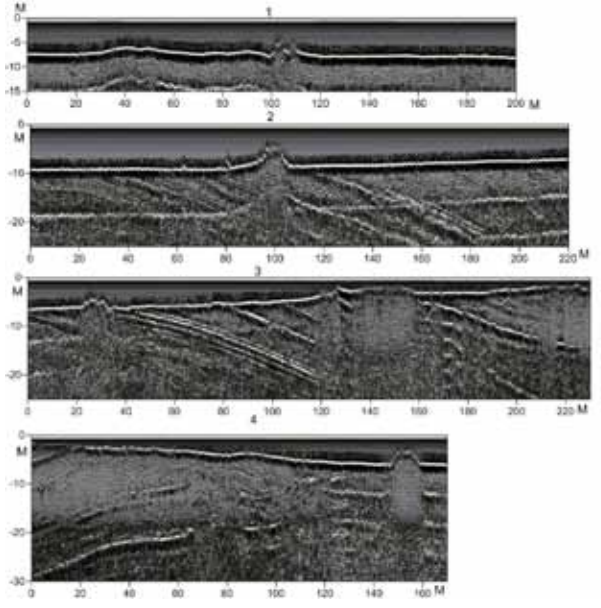


Рис. 1. Фрагменты профилограмм, относящиеся к проявлениям грязевого вулканизма. Шкала слева в метрах от поверхности воды

Таблица 1.

№	Долгота, градусы:минуты	Широта, градусы:минуты
1	36:035.864	45:010.425
2	36:034.222	45:011.527
3	36:035.927	45:012.068
4	36:034.782	45:011.560
5	36:035.481	45:011.649
6	36:036.937	45:009.430
7	36:036.496	45:009.148
8	36:036.278	45:008.919
9	36:036.367	45:008.954
10	36:037.199	45:009.226
11	36:037.051	45:009.019
12	36:037.290	45:009.091
13	36:037.393	45:009.129
14	36:037.422	45:009.004
15	36:037.616	45:008.465

Результаты профилирования позволяют оценить под поверхностную структуру донных отложений, однако, только вдоль трассы измерений. Дополнительную информацию для интерпретации отмеченных проявлений могут дать акустические изображения и рельеф дна [2]. На рис. 2 показана профилограмма, соответствующее акустическое изображение и рельеф поверхности дна. Видно, что донная поверхность в районе вероятного грязевого вулкана имеет более шероховатую, складчатую структуру по сравнению с близлежащими окрестностями.

В части поиска вулканических проявлений по геометрическому признаку могут использоваться и многолучевые системы измерения рельефа дна. В нашем случае были привлечены данные, полученные интерферометром бокового обзора. Вычисление глубин с разных галсов приводились к прямоугольной сетке с шагом примерно 5 метров. Из общего массива данных о глубинах для отдельных отмеченных фрагментов профилирования выбирались соответствующие массивы глубин. Анализ форм рельефа придает данным профилирования “площадной” характер, так как разумно предполагать, что сходный рельеф имеет и сходную подповерхностную структуру.

Приведенные примеры наглядно показывают возможности комплексных гидролокационных систем, включающих высокочастотный интерферометрический ГБО либо многолучевой эхолот и низкочастотный профилограф, для решения задач дистанционного геологического

обследования и мониторинга морского дна, что очень важно для участков, где планируется строительство подводных сооружений.

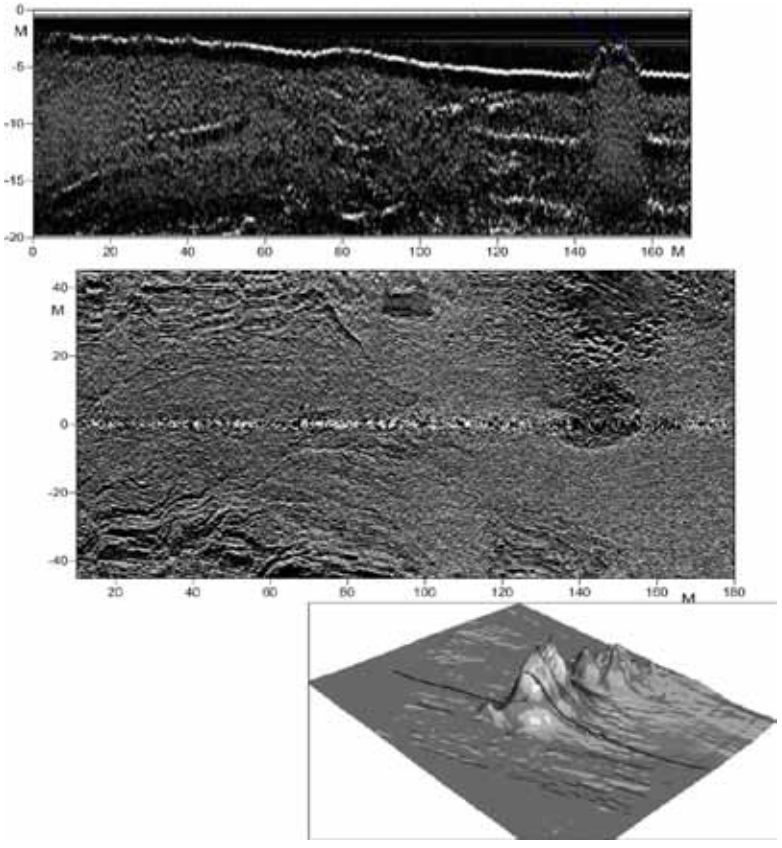


Рис. 2. Профилограмма, соответствующее акустическое изображение и рельеф поверхности дна в области вероятного грязевого вулкана

ЛИТЕРАТУРА.

1. **Шнюков Е. Ф., Соболевский Ю. В., Гнатенко Г. И.** и др./ Грязевые вулкан Керченско-Таманской области. Киев, 1986. 150 с.

2. **Каевицер В. И., Разманов В. М., Кривцов А. П.** и др.// Дистанционное зондирование морского дна акустическими сигналами с линейной частотной модуляцией. Радиотехника, 2008. №8. – С. 35–42.

УДК 002.55

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ИЛОВЫЙ ЗОНД

Пака В. Т., Кондрашов А. А., Подуфалов А. О., Бондарь А. В., Артемьева Т. С., Корж А. О.

Лаборатория экспериментальных гидрофизических исследований ФГБУН Институт океанологии им.П.П. Ширшова РАН Атлантическое отделение
Пр. Мира, 1, 236022, Калининград, 8(4012)452813, (4012)956911, факс (4012)916970, ioran@atlas.baltnet.ru*, vpaka@mail.ru*

Report present one of modern marine engineering development of Atlantic department of P.P.Shirshov Institute of Oceanology concerning the creation and exploitation underwater research device. The discussed device is: designed for temperature profile in a layer of silt.

В работе представлена разработка Атлантического отделения Института океанологии имени. П.П.Ширшова РАН – температурный иловый зонд. Устройство предназначено для получения профиля температуры в слое ила. Постоянная времени датчика в воде – 10 с. Информация передается на компьютер по мягкому, усиленному кевларовыми нитями кабелю с дискретностью 1 Гц. Для получения профиля температуры в заиленных реках и лагунах зонд внедряется в ил металлической трубой усилиями одного человека на глубину до 6 метров, после чего труба извлекается, а зонд через 10-минутные интервалы шагами по 0.5 м выбирается на поверхность дна.

В порядке эксплуатационных испытаний зонда были прослежены изменения вертикального распределения температуры илового слоя толщиной 2.5 м в реке Преголя в одной точке на удалении 10 м от берега.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Касаткин А.С.** Электротехника/ А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 440 с., ил.

2. Техническое описание микроконтроллера ADuC848, 2003. – 68 с. [Электронный ресурс]. URL: http://www.analog.com

3. Техническое описание полупроводникового терморезистора ММТ-1. 2005. – 1 с. [Электронный ресурс]. URL: http://lib.chipdip.ru

УДК 634.67

КАБЕЛЬНЫЕ ДОННЫЕ СЕЙСМОСТАНЦИИ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Левченко Д. Г.[1], Ковачев С. А.[1], Лобковский Л. И.[1], Ильинский Д. А.[2], Рогинский К. А.[1]

[1]Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, levch35@mail.ru
[2]Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, ул. Б. Грузинская, 10, 117384, г. Москва

At the Institute of Oceanology RAS for a number of years, carried out the production work on seismic monitoring of Korchagin oil fields in the Caspian Sea. Using three bottom cable seismic systems, development Laboratory of seismology and geodynamics, there is a continuous recording of seismic signals in the frequency range of 1 to 30 Hz with output data on the production platform. It is also registered tilting of platform. The results of development and testing of new marine bottom cable seismic station, designed for operation in the seismic networks, presumably in areas of offshore oil and gas fields in the Arctic. In connection with a specific set of tasks station has a sufficiently wide frequency range of recording seismic signals (from 100 sec to 500 Hz), the ability to remotely access in formation through the network, robust construction and flexible service. The stations passed laboratory and field testing and ready for trial operation.

В районах освоения морских нефтегазовых месторождений необходимо решать комплекс сейсмологических задач, связанных как с естественной и наведенной сейсмической активностью, так и с контролем результатов промышленной разработки. Система геодинамического мониторинга должна обеспечивать получение информации о развитии процесса растрескивания твердой среды и признаках ее разрушения, выраженных в появлении микро-землетрясений, спровоцированных перераспределением порового давления; информацию об изменениях углов наклона, наклонных перемещениях и колебаниях морской буровой платформы с выработкой сигнала тревоги при превышении значения уско-

рения заданного порога; а также информацию о поведении углеводородного резервуара месторождения по данным микросейсмичности, возникающей в процессе разбуривания и углеводородной добычи.

В ИО РАН в течение ряда лет проводятся производственные работы по сейсмологическому мониторингу нефтяного месторождения им. Корчагина в Каспийском море. С помощью трех донных кабельных сейсмостанций разработки Лаборатории сейсмологии и геодинамики осуществляется непрерывная регистрация сейсмических сигналов в частотном диапазоне 3–30 Гц с выводом данных на добывающую платформу. Регистрируется также наклон платформы [1]. На рис. 1 приведен внешний вид донного сейсмографа и блока наклономеров и акселерометров системы мониторинга.

Рис. 1. Блоки сейсмографа (слева) и наклономеров и акселерометров (справа) системы сейсмологического мониторинга нефтяного месторождения им. Корчагина (разработка ИО РАН)

В настоящее время в Институте океанологии им. П. П. Ширшова РАН разработана новая кабельная донная сейсмическая станция, предназначенная для работы в составе сейсмических сетей, предположительно в районах освоения морских нефтегазовых месторождений Арктики [2]. В связи со специфическим комплексом решаемых задач станция имеет широкий частотный диапазон (от 0,01 Гц до 500 Гц на уровне половины амплитуды сигнала), возможность удаленного доступа через информационные сети, надежную конструкцию и гибкую систему обслуживания. Станция прошла лабораторные и натурные испытания и подготовлена для опытной эксплуатации. Корпус станции разработан и изготовлен в ОКБ ОТ РАН (рис. 2). Донный сейсмограф содержит два тракта регистрации – низкочастотный (0.01–20 Гц) и высокочастотный

(1–500 Гц). В основу системы регистрации положены разработки ООО «Геонод» [2].

Кабель-трос донной сейсмостанции служит для передачи данных на береговой пункт, передачи команд управления и напряжения питания электронных элементов донной части. В составе берегового пункта обработки и управления находятся: персональный компьютер с установленными программами по сбору, обработке, хранению и передаче данных по сети (с использованием протоколов реального времени), интерфейсная плата для передачи питания и команд управления в донный сейсмограф и приема данных из ДС, блок сетевого удаленного доступа и источник бесперебойного питания донного модуля.

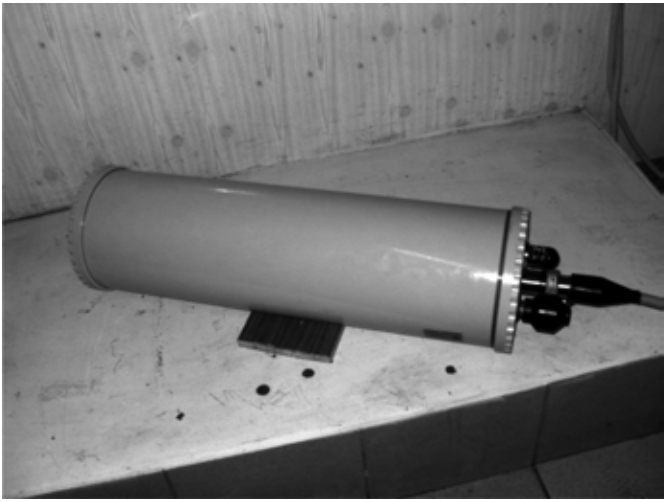


Рис. 2. Донный кабельный сейсмограф с широкой полосой регистрации (разработка ИО РАН)

Натурные морские испытания донной станции проводились на Черноморском полигоне Южного отделения ИО РАН (г. Геленджик, Голубая бухта) в конце августа – начале сентября 2014 г. На рис. 3 приведены записи местного землетрясения от 1 сентября 2014 г. 00 ч 27 мин 24.5 с, гипоцентр которого находился на расстоянии около 20 км от места постановки станции. Регистрация произведена высокочастотным трактом сейсмостанции. Аналогичные записи этого землетрясения получены и с помощью низкочастотного тракта регистрации.

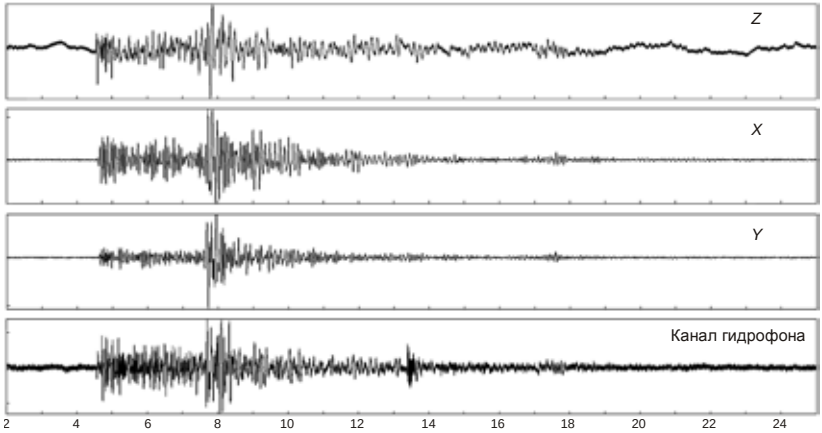


Рис. 3. Записи местного землетрясения от 1 сентября 2014 г. 00 ч 27 мин 24.5 с, полученные при натурных испытаниях донной кабельной сейсмостанции ИО РАН

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Лобковский Л. И., Ковачев С. А.** Система геодинамического мониторинга морской нефтегазодобычи на шельфе на примере морского нефтегазового месторождения имени Ю. Корчагина // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2010. №11. С. 11–14.

2. **Левченко Д. Г., Лобковский Л. И., Ильинский Д. А., Раушенбах И. Б., Леденев В. В., Рогинский К. А.** Опыт разработки и испытания комплексной кабельной донной сейсмостанции // Сейсмические приборы. 2014. Т. 50. № 4. С. 39–51.

УДК 537.867+523.034.43000.00

НЕКОТОРЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО АКУСТИЧЕСКОМУ ЗОНДИРОВАНИЮ ПОДДОННЫХ СТРУКТУР

Сычев В. А., Дмитриевский Н. Н., Куракин А. Л., Левченко О. В., Мутовкин А. Д., Либина Н. В.

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

The results of experimental studies to assess the possibility of creating parametric sonars are reported. The experimental sonar data was obtained by «Chirp Portable 3212», parametric profiler «SES-2000 standard» and side scan sonar «SportScan» in regions with different bottom sediments.

Прогресс в разработке гидроакустических средств (ГС) и технологий их использования обеспечил возможность решения многих задач, связанных с обследованием поверхности дна. Представленный на рынке широкий спектр ГС позволяет производить гидролокационную съемку поверхности дна с разрешением до единиц сантиметров и с дальностью до многих сотен метров. В результате такой съемки могут быть получены детальные 2D- и 3D- изображения обследуемой среды, отображаемые на экране монитора или бумажном носителе [1].

Однако возможности традиционных ГС при обследовании поддонных структур оказываются не столь значимыми. Фактически для указанной цели обычно используются слабонаправленные акустические профилографы, возможности которых оказываются крайне ограниченными, в особенности при поиске и идентификации малоразмерных поддонных структур и объектов. В связи с этим в работе [2] поставлен вопрос о возможности создания параметрических аналогов всего спектра традиционных ГС, которые могли бы быть использованы для получения аналогичных результатов при детальном обследовании поддонных структур.

Необходимость использования параметрических ГС обусловлена тем, что для обеспечения проникновения звука в грунт неоходимо использовать низкие частоты, на которых параметрические антенны обладают высокой направленностью, малым уровнем боковых лепестков и рядом других достоинств [3].

В то же время по ряду причин технического и методологического характера на рынке реально представлены лишь параметрические аналоги акустических профилографов, хотя есть основания полагать, что в ближайшее время следует рассчитывать на появление параметрических аналогов других традиционных ГС (многолучевых эхолотов, гидролокаторов бокового обзора и т. п.).

В связи с этим представляется актуальным рассмотрение ограничений на работу параметрических ГС, которые налагаются особенностями распространения звука в осадках и прохождения его через границу «вода–осадки».

Анализ показывает, что при использовании параметрических ГС для обследования поддонных структур важно принимать во внимание соотношение между скоростью звука в воде и в осадках. При обследовании поддонных структур, покрытых акустически мягкими осадками, в которых скорость звука меньше или равна скорости звука в воде, зондирование оказывается возможным в широком диапазоне углов. В то же время при обследовании поддонных структур, покрытых осадками, в которых скорость звука больше, чем скорость звука в воде, зондирование оказывается возможным лишь при углах, не превышающих величину угла полного внутреннего отражения. Указанные соображения необходимо учитывать при разработке технологии съемки поддонных структур с использованием ГС. Хотя на практике не менее важно ориентироваться на экспериментальные данные, полученные ГС при зондировании реальных поддонных структур, аналогичных тем, что представлены в данном докладе.

Из-за наличия многочисленных проблем, связанных с получением таких данных, на начальном этапе данного исследования был выбран подход, согласно которому использовались все возможности для получения таких экспериментальных данных в различных районах, с использованием различных доступных ГС. В соответствии с указанным подходом удалось провести гидроакустическую съемку дна и поддонных структур в трех районах: в Балтийском море, на Черном море и на Плещеевом озере.

В первом случае такая возможность была реализована при проведении работ на профиле в 127 рейсе НИС «Профессор Штокман» во время отработки методики использования эхолота «Chirp Portable 3212» (рис. 1). Предварительный анализ полученных при этом данных показывает, что обследованный профиль характеризуется значительным разнообразием поверхностных и поддонных структур, что является важным фактором при отработке методики использования параметрических аналогов традиционных ГС, которые планируется провести в данном районе.

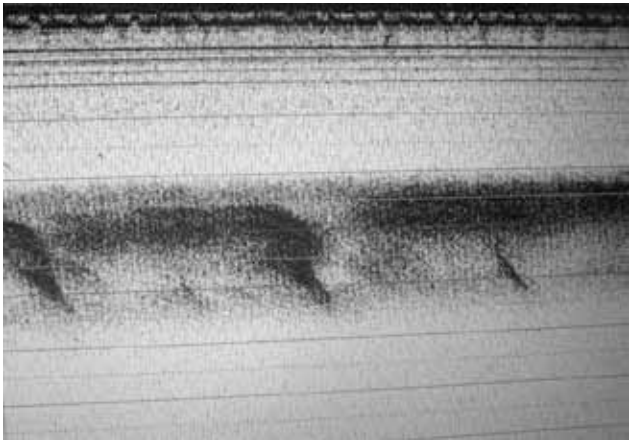


Рис. 1. Фрагмент профиля с регулярными поддонными структурами, покрытыми неуплотненными осадками. «Chirp Portable 3212». Балтика, 127 рейс НИС «Профессор Штокман»

Во втором случае экспериментальные данные по зондированию поддонных структур были получены с использованием параметрического профилографа «SES-2000 compact», в котором частота накачки составляла 100 кГц, а разностная частота могла изменяться в диапазоне от 4кГц до 15 кГц (рис. 2). Целью работ было получение экспериментальных данных, характеризующих зависимость вида профилей от угла зондирования и разностной частоты.

В третьем случае гидролокационная съемка дна производилась совместно с НПП «Форт XXI» с использованием гидролокатора бокового обзора «SportScan» на двух полигонах на Плещеевом озере с целью проведения последующего сравнительного анализа полученных результатов с результатами, которые планируется получить в ближайшем будущем с использованием акустического профилографа «StrataBox 3510», параметрического профилографа «SeaKing» и визуального обследования дайверами выявленных объектов на поверхности дна и в толще осадков.

Необходимо отметить, что указанные эксперименты, несмотря на определенную фрагментарность в их проведении, позволили получить результаты, которые могут оказаться полезными при разработке параметрических аналогов традиционных ГС и технологий их использования при зондировании поддонных структур и объектов.

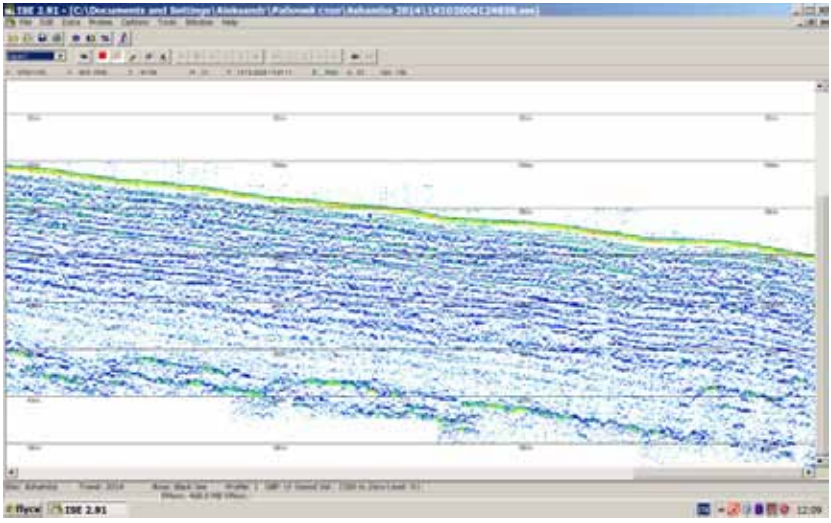


Рис. 2. Фрагмент профиля со стратифицированными осадками при вертикальном зондировании. Черное море. «SES-2000compact» НИС «Ашамба»

Настоящая работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные основы технологий двойного назначения в интересах национальной безопасности» (Проект 46П «Исследование и разработка параметрических гидроакустических средств и технологии их использования для поиска, идентификации и мониторинга объектов в водной среде, на поверхности дна и в толще неуплотненных осадков»).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Никитин, Г. А.** Справочник по технических средствам изучения параметров природной среды и Мирового океана / Г.А. Никитин, Р.-Корсаков Н. А., Сычев В. А. др. – СПб, 2010. – 181с.

Сычев, В. А. Современные гидроакустические средства поиска, обследования и мониторинга подводных потенциально опасных объектов / В.А. Сычев // Доклады сессии Научного Совета РАН «Диагностика и прогноз чрезвычайных ситуаций». – М., 2014. – С. 35–46.

3. **Новиков, Б.К.** Параметрические антенны в гидролокации / Новиков Б. К., Тимошенко В. И. – СПб.: Судостроение, 1990. – 256 с.

УДК 550.34

ВЫДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА С ПОМОЩЬЮ ЭМПИРИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ГРИНА

Крылов А. А., Иващенко А. И., Ковачев С. А., Лобковский Л. И.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(909)9782679,
krylov_deliver@mail.ru

The paper is devoted to the problem of source time function extraction from the observed seismogram using empirical Green's function technique. Seismic signal decomposing is useful for source study or understanding of path attenuation and local site effects.

Регистрируемые сейсмограммы являются источником информации о процессах в очагах землетрясений, а также влиянии среды распространения и локальных грунтовых условий на излучаемые сейсмические волны. Сигнал от землетрясения и его спектр можно представить следующим образом [1]:

$$x(t) = s(t) * p(t) * c(t) * i(t)\,, \qquad (1)$$

$$X(\omega) = S(\omega)P(\omega)C(\omega)I(\omega)\ \ , \qquad (2)$$

где $*$ – знак свертки; $x(t)$ – наблюденный сигнал, $s(t)$ – функция источника, $p(t)$ – функция среды распространения сигнала, $c(t)$ – функция локальных грунтовых условий, $i(t)$ – функция регистрирующей аппаратуры; $X(\omega)$, $S(\omega)$, $P(\omega)$, $C(\omega)$, $I(\omega)$ – соответственно их спектры Фурье.

Выделение функции источника необходимо для определения параметров очага землетрясения. Кроме того разложение наблюденного сигнала на составляющие полезно для корректного расчета искусственных акселерограмм, что, в частности, необходимо для проведения сейсмомикрорайонирования площадок строительства сооружений в сейсмоопасных районах.

Сейсмограмму также можно представить в виде свертки функции источника с функцией Грина (откликом среды распространения на единичный импульс):

$$x(t) = s(t) * G(t), G(t) = \delta(t) * p(t) * c(t) * i(t) . \quad (3)$$

Для нахождения функции источника удобен метод с использованием эмпирической функции Грина [2], при котором в качестве отклика на единичный импульс представляют афтершок крупного землетрясения:

$$x_{mainshock}(t) \approx s(t) * x_{aftershock}(t) , \quad (4)$$

$$s(t) = \iint D'_t(x_0, y_0, t - \tau(x, y))dS , \quad (5)$$

где D – смещение в точке на плоскости разрыва в очаге, x_0, y_0 – координаты точки начала вспарывания, $\tau(x,y)$ – временной лаг, характеризующий распространение вспарывания в плоскости разрыва, dS – элемент плоскости разрыва.

Из формулы (4) видно, что функция источника находится обратной сверткой. Т.е. необходимо решить систему линейных уравнений:

$$Ax = b , \quad (6)$$

где $A_{jk} = x_{aftershock}[(j-k)\Delta t]$, $x_j = s(j\Delta t)$, $b_k = x_{mainshock}(k\Delta t)$.

Т.к. ранг матрицы A больше количества искомых переменных, то такую систему можно решить методом наименьших квадратов:

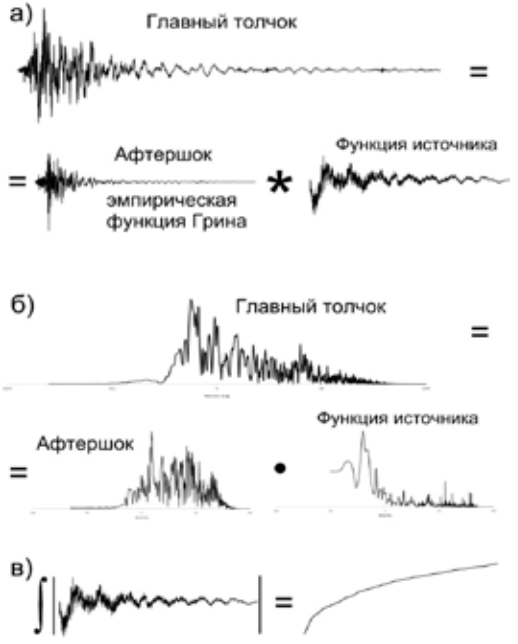
$$x = (A^T A)^{-1} A^T b . \quad (7)$$

Для расчетов были использованы записи известного землетрясения в Л'Акуиле с магнитудой 6.3, произошедшего 6 апреля 2009 года и повлекшего за собой гибель около 300 человек. В качестве эмпирической функции Грина выбран афтершок с магнитудой 4.6 (7.04.2009), имеющий схожий с главным толчком механизм очага.

На рис. 1 изображены горизонтальные компоненты велосиграмм главного толчка и афтершока, полученные с помощью сейсмографа в городе Л'Акуила, результат обратной свертки, а также соответствующие спектры Фурье.

О корректности решения говорят волновая форма (рис. 1а), спектр функции источника (рис. 1б) и ее интеграл по времени (рис. 1в). Согласно формуле (5) функция источника представляет собой первую производную по времени среднего смещения по разлому, интегрированную по всей площади разрыва. Ее интегральная форма (по времени) представляет собой ступенчатую функцию (рис. 1в). Т.е. смещение по разрыву должно нарастать в течение определенного времени (время нарастания), а затем выйти на постоянное значение. Пологая форма ступенчатой функции на рис. 1в получена из-за вклада высоких частот,

т.к. область разрыва крупного землетрясения можно представить в виде суперпозиции высокочастотных субочагов с собственным временем нарастания. Суммирование их функций с временным лагом, характеризующим распространение вспарывания по плоскости разрыва, и приводит к полученному виду интегральной формы функции источника.



а) сейсмические сигналы, б) соответствующие спектры Фурье,
в) результат интегрирования по времени функции источника,
соответствующей формуле (5)

Рис. 1. Представление наблюденной записи землетрясения сверткой функции источника и эмпирической функции Грина

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Clinton J.F.** Modern Digital Seismology – Instrumentation, and Small Amplitude Studies in the Engineering World // California Institute of Technology, Pasadena, California, 2004, 273p.

2. **Hartzell S.H., Heaton T.H.** Teleseismic time functions for large, shallow subduction zone earthquakes // Bull. Seismol. Soc. Am. 75, №4, 1985. pp. 965–1004.

УДК 550.837.6

ДЛИННОМЕРНЫЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫЙ СТРИМЕР – НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРИ ПОИСКАХ УВ НА ШЕЛЬФЕ

Ерофеев Ю. Г.[1], Кяспер В. Э., Лисицын Е. Д.[2], Лобковский Л. И.[3], Петров А. А.[2], Рогинский К. А.[3], Тулупов А. В.[2]

[1] ООО «Моргеокомплекс», ул. Свердлова, д. 39, 183034, г. Мурманск, 8(8152) 43-45-97, yue@mgcomplex.ru
[2] ООО «МЕМ», ул. Маршала Говорова, 52, литер А, 198095, г. Санкт-Петербург, 8(812) 331-84-50, geo@marineem.ru
[3] Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499) 124-59-90, llobkovsky@ocean.ru

Paper presents a new marine controlled source technology – electromagnetic long line streamer. The technology combines almost all capabilities of conventional CSEM to investigate the resistivity section and possibilities to reveal the anomalies of induced polarization which often coincide with oil and gas deposits.

Первые опыты применения морской электроразведки, направленные на поиски углеводородов (УВ), относятся к середине 70-х годов прошлого века. Тогда в Санкт-Петербурге (ГНПП «Севморгео», затем ООО «СМГ-Электро» был разработан аппаратурно-методический электроразведочный комплекс АМЭК, который обеспечивал в движении зондирование становлением электрического поля при поисках УВ. Отработка методики происходила на месторождениях Черного и Баренцева моря. В 2002 г. эта методика совместно с ООО СГНПК (г.Иркутск) была дополнена дифференциальными измерениями и в таком виде применяется до настоящего времени для выявления аномалий вызванной поляризации (ВП). В конце 90-х – начале 2000-х несколько западных компаний (EMGS, Норвегия, OHM, Великобритания, ExxonMobil и Schlumberger, США) практически одновременно начали проводить глубоководные поиски УВ с посредством дистанционных зондирований с применением донных станций (CSEM).

За последние 10 лет выполнено более 700 морских коммерческих проектов с целью выявления залежей УВ. Подавляющее большинство – глубоководные дистанционные зондирования методом CSEM для полу-

чения информации о распределении удельного электрического сопротивления пород [1]. В разработках иностранных компаний отсутствует направленность на изучения эффектов ВП. Несмотря на это, статистика на основании результатов бурения показывает практически двукратное увеличение коэффициента успешности бурения за счет учета данных электроразведки. Постепенно происходит процесс превращения морской электроразведки из нового, малоизученного метода в штатное средство геофизического комплекса. К сфере применения морской электроразведки относится, в первую очередь, непосредственная оценка перспективных структур по значениям УЭС, а также косвенная оценка по значениям аномалий ВП [2]. В тех случаях, когда сейсморазведка оказывается неэффективна (перекрытые траппами толщи, подкозырьковые залежи и др.), электроразведка может быть использована для расчленения разреза. При этом предварительное моделирование для выяснения возможностей метода в условиях данного участка является важнейшим условием для её эффективного применения.

Авторы доклада имеют многолетний опыт разработок и проведения полевых работ в области морской электроразведки [3, 4]. Эти работы выполнялись в Баренцевом, Черном, Каспийском морях, в Обской губе. Именно этот опыт привел к пониманию необходимости разработки технологии, обеспечивающей единство достоинств всех предшествующих методик. В результате в 2014 г. был разработан и испытан образец длинномерного многоразносного стримера, общая схема которого представлена на рис. 1.

Рис. 1. Схема стримера с использованием поддерживающих буев

Измерения со стримером, при их относительно невысокой цене, сочетают положительные качества и дистанционных зондирований, и зондирований становлением поля. Авторами доклада технически реализовано создание такой инновационной системы, показавшей высокую эффективность при проведении опытно-методических работ на Каспийском море. Контейнерное исполнение отдельных элементов комплекса позволяет арендовать для его использования суда самого широкого класса. Пример размещения оборудования на палубе судна приведен на рис. 2.

Рис. 2. Размещение на корме судна

Будущее морской электроразведки – площадные измерения с помощью многоразносных стримеров с притопленной косой длиной до 9–12 км.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Hesthammer, J.** CSEM performance in light of well results/ J. Hesthammer, A. Stefatos, M. Boulaenko, S.Fanavoll, J.Danielsen, // The Leading Edge. 2010. Vol. 29. No.1. PP. 34–41.

2. **Veeken, P.** Benefits of the induced polarization geoelectric method to hydrocarbon exploration/ P. Veeken, P. J. Legeydo, Yu.A. Davidenko, E.O. Kudryavceva, S. A. Ivanov, A. Chuvaev// Geophysics.: 2009. Vol. 74. No.2. – P. B47–B59.

3. **Петров, А.А.** Опыт применения электромагнитных зондирований при поисках углеводородов в транзитной зоне Каспийского моря/ А. А. Петров, М. С. Маловичко, А.Б.Кочеров, Е.Д.Лисицын// Геофизика. – 2010. – №2. – С. 60–64.

4. **Бобров, Н. Ю.** Морские электромагнитные зондирования с донными станциями на шельфе Черного моря/ Н. Ю. Бобров, А. Б. Кочеров, М. С. Маловичко, А. А. Петров, М. Б. Сергеев// Геофизика. – 2013. – №4. – С. 2–9.

УДК 551.46.07

РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРОЛОКАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДОННОГО РЕЛЬЕФА ДЕЛЬТОВЫХ РУКАВОВ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ[1]

Иванов В. В.[1], Коротаев В. Н.[1], Пронин А. А.[2], Римский-Корсаков Н. А.[2]

[1]Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, e-mail: vlaskor@mail.ru;
[2]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: nrk@ocean.ru

Investigations of morphology bottom and channel bed sediments of the main arms of the North Dvina delta have been carried out by the Faculty of Geography (Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes) of the Moscow State University (MSU) and the Oceanology Institute (Laboratory of the Bottom Sounding) of the Russian Academy of Sciences (RAS) at 2014. Data obtained from sonar scanning and echo-sounding of the river channel bed were coordinated by synchronous measurements of geographical position and time from the GPS system.

Геофизические исследования, выполненные сотрудниками Лаборатории гидролокации дна Института океанологии РАН им. П. П. Ширшова и Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ–РГО (проект №13-05-41001)

процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ в период 2014 г. в дельте Северной Двины, позволили значительно расширить существующие представления о строении донного рельефа магистральных дельтовых рукавов. В дельте были изучены рукава Никольский, Мурманский, Корабельный и Маймаксае. В результате этих исследований получены непрерывные гидроакустические записи строения подводного рельефа и донных отложений. Для проведения исследований использовался комплекс гидролокационной аппаратуры, включающий трехчастотный гидролокатор бокового обзора (ГБО) «YellowFin» фирмы Imagenex с рабочими частотами 260, 330 и 800 кГц, акустический профилограф «АП-5-ИОРАН» с рабочей частотой 4.5 кГц и гидрографический промерный эхолот «Скат-50М» фирмы «ФортXXI». Сбор и отображение получаемой информации в реальном времени проводилось на экране монитора ПЭВМ. Работой АП управлялась программой «ЭхоГраф» оригинальной разработки ЛГД. Предварительная обработка данных и приведение их к виду, удобному для обработки стандартными пакетами программ, велась с использованием также оригинальной программы WinRSTR.

Дельта Северной Двины начинается в 45 км от устьевого створа (условной границы между дельтой и взморьем) вблизи центральной части г. Архангельска. Ширина русла в вершине дельты – около 1 км, глубина – 15–20 м. Генеральное направление дельты – северо-западное, совпадающее с центральным Мурманским рукавом дельты. С запада дельта ограничена самым многоводным рукавом – Никольским и примыкающей к нему системой мелких протоков. Восточная граница дельты совпадает с верхней частью Корабельного рукава, а затем протоком Кузнечиха, а после его впадения в проток Маймаксу – нижней частью Маймаксы и Корабельным устьем дельты. Морской край дельты проходит по морскому побережью внешней цепи островов: Ягры, Гремиха, Кумбыш, Голец, Скандия, Мудьюг.

Основу гидрографической сети дельты составляют три рукава: Никольский, Мурманский и Корабельный, отходящие от вершины дельты и непосредственно впадающие в море. При впадении в море рукава имеют типичное эстуаровидное расширение русла, именуемое «устьем». Никольский рукав при впадении формирует основное Пудожемское устье и небольшое, самое западное Никольское устье. Мурманский рукав выходит в море двумя устьями – главным Мурманским и малым Поганым. Корабельный рукав после слияния с главными протоками дельты – Кузнечихой и Маймаксой – формирует самое широкое в дельте Корабельное устье.

Длина Никольского рукава дельты около 40 км, средняя ширина – 1,5–2 км. В нижней части рукав имеет ширину до 5 км, а непосредственно на устьевом створе – 2 км. Глубина рукава – 3–15 м. Верхняя часть рукава протяженностью 12 км используется для морского судоходства на участке Архангельск–Лайский док. Низовье рукава используется для речного судоходства между Архангельском и Северодвинском.

Мурманский рукав имеет длину около 30 км, ширину 1–2 км, вблизи моря до 5–7 км, на устьевом створе – 1,5 км; глубина рукава – 5–18 м. Рукав используется для судоходства на всем протяжении. Корабельный рукав начинается у г. Архангельска и имеет протяженность около 35 км. В 2 км от его истока ответвляется один из двух основных протоков дельты – Кузнечиха. Второй основной проток дельты – Маймакса отделяется от Корабельного рукава в 8 км от истока и впадает снова в него на 23 км, приняв справа проток Кузнечиху. Средняя ширина Корабельного рукава 1–1,5 км, характерная глубина 5–10 м. Для морского судоходства используется начальный отрезок рукава протяженностью около 10 км и нижняя часть рукава после впадения протока Маймаксы на расстоянии 10 км.

Проток Маймакса имеет ширину русла 200–300 м, ниже впадения Кузнечихи – 500–600 м. Русло протока на всем протяжении глубоководное (8–10 м). По этому протоку проходит главный судовой ход Архангельского морского порта. Проток Кузнечиха имеет длину 25 км, ширину русла 300–500 м. Верхний участок протока мелководен и используется только для речного судоходства. Нижний отрезок протоки имеет глубины 5–10 м и используется для подхода морских судов к причалам лесозавода и нефтебазы. В месте слияния протока Кузнечиха с Маймаксой находится район Архангельского морского порта – аванпорт Экономия.

Продольное эхолотирование дельтовых рукавов Сев. Двины в меженный период позволило выявить основные закономерности строения рельефа дна. Для магистральных дельтовых рукавов (Маймакса, Корабельный, Мурманский, Никольский) по данным эхолотирования определялась иерархическая структура грядового рельефа с использованием методики, разработанной Н. И. Алексеевским (1998). Согласно этой методике, в иерархической структуре выделяются гряды различного порядка (гряды А, Б, В, Г, Д). Кроме перечисленных типов гряд, в дельте Северной Двины были выявлены так называемые песчаные волны (перекатные участки) и самые малые грядовые формы – рифели. Протяженность песчаных волн изменяется в значительном диапазоне – от 2,8 до 12,6 км (средняя длина – около 5,5 км). Перепад отметок дна ме-

жду гребнями песчаных волн и плесами достигает 4,1–10 м. Эти волны формируют перекатные участки, состоящие из единичных или группы перекатов. Группы перекатов обычно приурочены к участкам разветвления русла на рукава или к участкам меандрирования дельтовых рукавов.

В пределах гребней песчаных волн выделяются грядовые мезоформы, соответствующие перекатам. Длина таких аллювиальных скоплений (гряды типа А) изменяется от 0,9 до 3,9 км, а перепад высоты между гребнями и разделяющими их плесами – от 1,6 до 8 м.

Рельеф поверхности дна в пределах перекатов осложняется менее крупными грядами, соответствующие размерам побочней (гряды типа Б). В пределах переката обычно прослеживается от 2 до 4 таких гряд. Протяженность гряд типа Б составляет в среднем 1000–1300 м, а высота (превышение отметок дна между гребнями и отметками дна в плесовых лощинах) изменяется от 1 до 3,1 м. В отдельных случаях протяженность таких гряд может увеличиваться до 2,1 км, например, в рукаве Корабельном.

Рельеф дна на поверхности гряд по типу Б осложнен более мелкими грядовыми образованиями – грядами типа В, Г и Д (так называемые дюны). Высота гряд типа В может изменяться от 0,5 до 2 м, при их длине от 100 до 400 м. Высота гряд типа Г составляет 0,2–1 м, при протяженности от 20 до 150 м. Длина гряд типа Д составляет от 10 до 60 м. Высота их варьирует от 0,1 до 0,6 м. На поверхности дюн прослеживаются отдельные скопления аллювия, соответствующие самым мелким формам грядового рельефа, – рифелям. Рифели имеют протяженность не более 10 м, а их высота в среднем составляет менее 0,1 м.

Анализ данных эхолотирования позволил установить основные различия в иерархической структуре рельефа дна для магистральных дельтовых рукавов. В частности, судоходный рукав Маймакса имеет наименьшие значения длины гряд типа А (перекатов), по сравнению с другими рукавами. По-видимому, это связано с относительно малой водностью рукава, меньшим количеством наносов, поступающих в рукав, и проведением дноуглубительных работ в пределах судоходного рукава. Небольшая длина перекатов характерна для Мурманского рукава, что также связано с особенностями распределения расходов воды между рукавами. Согласно некоторым данным, через Мурманский рукав проходит наименьший объем стока воды и незначительный сток наносов.

Согласно Н. И. Алексеевского (1998), рифели и гряды типа Г и Д наиболее активно участвуют в транспорте речных наносов в меженный период и их параметры определяются закономерностями гидравлики меженного потока. Однако анализ грядового рельефа в дельте Северной

Двины показал отклонение от такой закономерности для активно перемещающихся гряд. В дельтовых рукавах Сев. Двины наблюдается закономерное чередование рифелей и гряд низкого порядка по длине водотока. Характерно, что наименьшая распространенность рифелей отмечалась на участке от вершины дельты до узла разделения на дельтовые рукава Маймакса и Корабельный. Полное отсутствие рифелей наблюдалось на участке русла до устья Никольского рукава и их появление ниже по течению. По-видимому, это может быть связано с воздействием приливных волн, проникающих в дельту со стороны Двинского залива.

Вертикальные русловые деформации в дельтовых рукавах Северной Двины имеют сезонную и многолетнюю составляющие. В многолетнем плане наблюдается постепенное понижение отметок дна от истока к устью в Никольском и Мурманском рукавах (размыв) или повышение дна в Корабельном рукаве (аккумуляция). Сезонные переформирования связаны с формированием грядового рельефа и его деформациями, обусловленные прохождением половодья.

УДК 543.064

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА БАЙКАЛ БЕНЗ(А)ПИРЕНОМ И ДРУГИМИ ПАУ

Халиков И. С.

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

The report gives the results of 2011-2012 measurements of benz(a)pyrene and PAH in bottom sediments at the sites of the BPPP and the Selenga delta effluents discharge.

Чистота вод оз. Байкал и состояние различных элементов его экосистемы привлекает огромное влияние российской и мировой общественности. Байкал является уникальным природным объектом по разнообразию флоры и фауны, многие из которых являются эндемичными, включен в список природного наследия ЮНЕСКО.

Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат (БЦБК) – промышленное предприятие, расположенное в г. Байкальске (Иркутская обл.), на юге восточного берега оз. Байкал. БЦБК, введенный в эксплуатацию

в 1966 г. и функционировавший без перерывов до 2009 г., получил широкую известность как крупнейший источник загрязнения Байкала.

Определение БаП и некоторых ПАУ в экосистеме оз. Байкал было начато Госкомгидрометом СССР в 1981 г. в районе сброса сточных вод БЦБК и продолжались до 1988 г. Изучение накопления ПАУ в донных отложениях (ДО) этого района южной котловины Байкала было возобновлено Росгидрометом в 2010 г. В 2011 г. возобновлены также исследования ДО на авандельте р. Селенга (средний Байкал), прерванные в 2001 г.

Бенз(а)пирен (БаП) является общепринятым индикаторным представителем для всего профиля ПАУ, однако оценивать загрязненность донных отложений только по этому показателю в настоящее время не вполне корректно. Поэтому целью работы являлось определение 17 ПАУ, содержащих от 2 до 6 конденсированных ароматических колец, в донных отложениях обследуемых районов БЦБК и авандельты р. Селенга.

В работе для идентификации и количественного определения индивидуальных ПАУ использовали метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с флуориметрическим детектированием.

Пробы донных отложений на полигонах сброса сточных вод БЦБК и Селенгинского мелководья отбирались в 2011–2012 гг. ФГБУ «ГХИ», г. Ростов-на-Дону (ответственные Никаноров А.М., Матвеев А.А., Резников С.А., Аракелян В.С.) с помощью дночерпателя «Океан-0,05» из поверхностного слоя (0-2 см) ДО в пределах глубин отбора от 20 до 350 м.

Во всех пробах донных отложений района сброса сточных вод БЦБК были идентифицированы и количественно определены в порядке убывания средних концентраций следующие ПАУ – флуорантен, бенз(b)флуорантен, хризен, бенз(e)пирен, пирен, фенантрен, бенз(g,h,i)перилен, инден[1,2,3-c,d]пирен, бенз(a)пирен, бенз(a)антрацен, нафталин, 1-метилнафталин, бенз(k)флуорантен, флуорен, дибенз(a,h)антрацен, антрацен, аценафтен (рис. 1). Следует отметить, что в ДО авандельты р. Селенга профиль ПАУ выглядит иначе, здесь максимальное среднее содержание принадлежит низкомолекулярным полиаренам – нафталину и 1-метилнафталину.

По результатам обследования 2011–2012 гг., распределение БаП и ПАУ в ДО района сброса сточных вод БЦБК и авандельты р. Селенга показало неоднородный характер. Результаты по средней концентрации BaP и суммы 17 ПАУ, а также их интервалы значений в обследованных участках приведены в таблице 1.

Содержание бенз(а)пирена в донных отложениях района БЦБК изменялось от 0,3 до 24,2 мкг/кг, а в ДО авандельты р. Селенга соответственно от 0,05 до 7,8 мкг/кг. Суммарное содержание 17 ПАУ также было

выше в районе сброса сточных вод БЦБК по сравнению с районом Селенгинского мелководья в несколько раз.

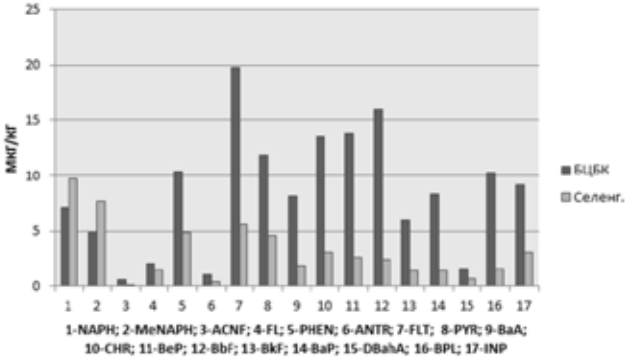


Рис. 1. Профиль среднего содержания ПАУ в донных отложениях оз. Байкал в районе сброса сточных вод БЦБК (n=62) и Селенгинского мелководья (n=12)

Таблица 1. Среднее содержание бенз(а)пирена и суммы 17 ПАУ в донных отложениях оз. Байкал (БЦБК) и авандельты р. Селенга, мкг/кг (2011-2012 гг.)

Район отбора, глубина отбора, количество проб	Средняя концентрация BaP, интервал, мкг/кг	Средняя концентрация суммы 17 ПАУ, интервал, мкг/кг
Селенгинское мелководье, от 10 до 50 м (n=12)	1,4 (0,05-7,8)	52,2 (20,0-125,9)
Оз. Байкал (БЦБК), до 50 м (n=12)	4,0 (0,3-14,8)	78,1 (20,9-233,3)
Оз. Байкал (БЦБК), от 50 до 100 м (n=13)	5,4 (1,1-12,1)	117,2 (54,9-269,2)
Оз. Байкал (БЦБК), от 100 до 200 м (n=21)	10,3 (1,9-17,7)	172,5 (61,4-278,4)
Оз. Байкал (БЦБК), свыше 200 м (n=16)	13,4 (2,1-24,2)	212,4 (45,9-326,3)

Было отмечено, что средние концентрации бенз(а)пирена и суммы ПАУ, также как их минимальные и максимальные концентрации, в ДО в районе БЦБК с глубиной возрастают, на глубине свыше 200 м содержание увеличивается в несколько раз по мере удаления от источника сброса сточных вод. До глубин 100 м, донные отложения представлены в основном алевритами и разнозернистыми песками. Согласно общей литогеохимической закономерности, с увеличением содержания пелито-

вой фракции с глубиной илистые осадки загрязнены ПАУ в большей степени, по сравнению с песчанистыми отложениями.

Пробы с повышенным содержанием ПАУ чаще находились в восточной части полигона, что указывает на основное направление в динамике переноса ПАУ в донных отложениях. Сложное геоморфологическое строение исследуемого полигона, наличие каньонов с крутыми склонами, способствуют сползанию осадочного материала на большие глубины озера.

Максимальные концентрации BaP (20,1 и 24,2 мкг/кг) и суммы 17 ПАУ (276,3 и 326,3 мкг/кг) в районе сброса сточных вод БЦБК были выявлены на глубине около 230 м. Следует отметить, что значения максимальных концентраций бенз(а)пирена превышают ПДК (20 мкг/кг) в почве для этого соединения.

В авандельте р. Селенга максимальная концентрация БаП (7,8 мкг/кг) и суммы 17 ПАУ (125,9 мкг/кг) была обнаружена в одной из проб алевритовых илов речных выносов протоки Харауз.

Оценка загрязненности донных отложений приоритетными ПАУ районов БЦБК и авандельты р. Селенга проводилась по шведской классификации загрязненности донных отложений. Согласно этой классификации, значительная часть проб ДО, отобранные в авандельте р. Селенга и районе БЦБК (глубины до 100 м), относится к 1 и 2 классу с «низкими» концентрациями ПАУ. К 3-му классу с «умеренными» концентрациями ПАУ относятся 8,3% проб авандельты р. Селенга (n=12); 33,3 % проб района сброса сточных вод БЦБК (глубина до 50 м, n=12); 38,5% проб (БЦБК, глубина от 50 до 100 м, n=13); 76,2% проб (БЦБК, глубина от 100 до 200 м, n=21) и 93,7% (БЦБК, глубина от 200 до 350 м, n=16). Основной вклад в загрязнение ДО по данной системе вносят следующие ПАУ – фенантрен, флуорантен, пирен, бенз(а)антрацен, хризен, бенз(а)пирен.

Уровень загрязнения донных отложений в районе сброса сточных вод БЦБК выше, чем на севере и в центральной части Байкала почти на порядок. Этот факт доказывает, что одним из источников загрязнения оз. Байкал полициклическими ароматическими углеводородами являлся БЦБК.

Средний процент содержания бенз(а)пирена от суммы 17 идентифицируемых ПАУ в донных отложениях района сброса сточных вод БЦБК (5,7%) был примерно в 2 раза выше, чем в авандельте р. Селенга (2,7%).

Следует также отметить, что среднее содержание наиболее токсичных 4–6-ядерных ПАУ в районе БЦБК (81%) от суммы 17 ПАУ было примерно в 1,5 раза выше, чем в авандельте р. Селенга (53%). Высокие

концентрации канцерогенных ПАУ, составляющие более половины от суммарной концентрации ПАУ, указывают на их техногенное происхождение.

Для оценки происхождения ПАУ (пиролитические или петрогенные источники загрязнения) исследовали общий профиль и несколько диагностических отношений, таких как отношение содержания низкомолекулярных ПАУ с молекулярной массой от 128 до 202 к высокомолекулярным ПАУ с молекулярной массой от 228 до 278 (НМ ПАУ/ВМ ПАУ), отношение флуорантена к пирену (FLT/PYR), отношение бенз(а)антрацена к сумме бенз(а)антрацена и хризена (BaA/(BaA+CHR), отношение инден[1,2,3-c,d]пирена к сумме инден[1,2,3-c,d]пирена и бенз(g,h,i)перилена (INP/(INP+BPL). Изучение показало, что ПАУ в донных отложениях района сброса сточных вод БЦБК имеют пиролитическое происхождение, а в ДО авандельты р. Селенга присутствуют ПАУ пирогенного происхождения и нефтяного загрязнения.

Для оценки границ зоны загрязнения ПАУ и влияния БЦБК требуется отбор проб ДО на большей акватории озера. Для рассмотрения картины распределения ПАУ в этом районе южного Байкала в прошлые годы необходим отбор ДО по глубине осадков с определением их возраста.

УДК 543.635.62

ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ

Халиков И. С.

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

The report gives the results of determining in 2014 the levels of twenty PAH contents in the licensed studied parts of the Barents and Kara Seas.

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) относятся к числу наиболее опасных веществ, загрязняющих морские объекты. В зависимости от расположения колец (линейное, угловое, кластерное) различные ПАУ обладают разным канцерогенным, мутагенным, терато-

генным, гепатотоксическим действием. Наибольшей токсичностью характеризуются 4–7-ядерные ПАУ, имеющие помимо нефти, и иные источники поступления в объекты природной среды.

Поведение ПАУ в водных объектах в значительной степени зависит от их агрегатного состояния. В результате процессов седиментации и биоседиментации ПАУ аккумулируются в донных отложениях, где их содержание на порядки больше, чем в водной среде. Накопление в донных осадках ПАУ может привести к вторичному загрязнению водной среды.

Открытым остается вопрос о количестве ПАУ, которые следует определять в объектах окружающей среды, в разных директивах предлагается проводить мониторинг от одного ПАУ (только бенз(а)пирена), нескольких ПАУ или 16 приоритетных полиаренов, предложенных Агентством по защите окружающей среды США (US EPA).

В работе для идентификации и количественного определения индивидуальных ПАУ использовали метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с флуориметрическим детектированием после предварительного выделения, концентрирования и очистки полиаренов из анализируемых объектов.

Пробоподготовка состояла из этапов отбора проб донных отложений, выполненных ФГБНУ «ПИНРО» (г. Мурманск), высушивания образцов до постоянного веса и измельчения высушенных проб в ступе до гомогенного порошка.

Метод анализа основан на выделении ПАУ из 1-2 г донных отложений экстракцией гексаном (10 $см^3$ ´ 2) под действием ультразвука в течение 10 мин, фильтровании через бумажный фильтр, концентрировании объединенных экстрактов на ротационном испарителе в вакууме водоструйного насоса или в токе азота при температуре не выше 40°С до объёма 1–2 $см^3$, очистке полученного экстракта от мешающих примесей с помощью твердофазной экстракции (ТФЭ) и использования вакуумного манифолда VacMaster-10 на картриджах с силикагелем (1 г/6 мл, 63–200 мкм, Selecto Scientific), элюировании ПАУ ацетонитрилом и разделении компонентов методом ВЭЖХ на хроматографе «LC-20 Prominence» (Shimadzu) с колонкой «Envirosep PP» в режиме градиентного элюирования.

В качестве градуировочных стандартов использовали стандартные растворы индивидуальных ПАУ и их смесей производства фирмы «Supelco» и «Dr. Ehrenstorfer GmbH».

При установлении градуировочных характеристик и выполнении определений массовых концентраций ПАУ соблюдали следующие усло-

вия: температура термостата колонки – 40°С; режим элюирования – градиентный от 70% объемной доли ацетонитрила в воде до 90%; скорость потока элюента – 0,75 см^3/мин; объём вводимой аликвоты – 10 мкл.

Интервалы определения массовой концентрации ПАУ в донных отложениях составляют от 0,05 до 1000 мкг/кг для разных соединений.

В донных отложениях Карского моря были идентифицированы и количественно определены в порядке убывания средних концентраций следующие ПАУ – фенантрен, флуорантен, флуорен, пирен, бенз(b)флуорантен, бенз(e)пирен, инден[1,2,3-c,d]пирен, хризен, бенз(a)антрацен, антрацен, бенз(g,h,i)перилен, бенз(a)пирен, бенз(k)флуорантен, дибенз(a,e)пирен, коронен, дибенз(a,h)антрацен, антантрен, дибенз(a,i)-пирен, дибенз(a,l)пирен, дибенз(a,h)пирен (рис. 1). В донных отложениях Баренцева моря профиль содержания ПАУ примерно такой же.

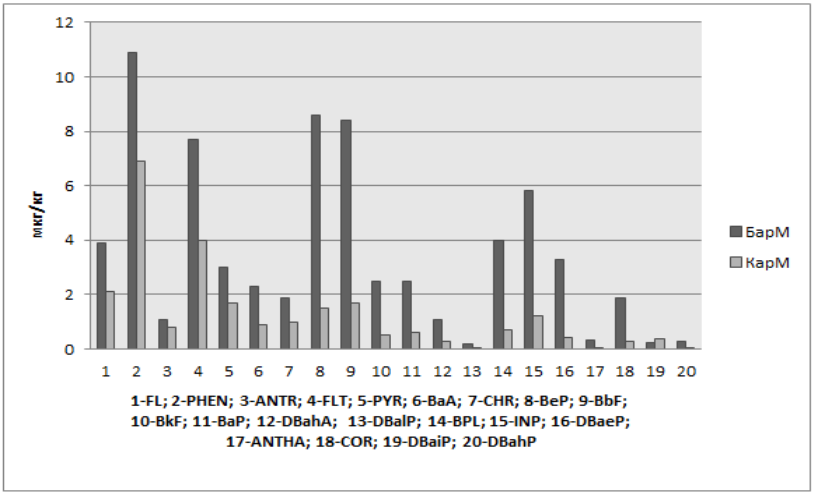


Рис. 1. Профиль среднего содержания ПАУ в донных отложениях Баренцева моря (n=48) и Карского моря (n=24)

По результатам обследования 2014 г., содержание бенз(а)пирена в донных отложениях Баренцева и Карского морей изменялось в довольно узких пределах от 0,2 до 4,3 мкг/кг, а суммарного содержания 20 ПАУ соответственно от 17,3 до 129 мкг/кг. Результаты по средней концентрации BaP и суммы 20 ПАУ в лицензионных участках (ЛУ) обследованных морей приведены в таблице 1.

Таблица 1. Среднее содержание бенз(а)пирена и суммы 20 ПАУ в донных отложениях лицензионных участков Баренцева и Карского морей, мкг/кг (2014 г.)

Море, лицензионный участок, количество определений	Средняя концентрация BaP, мкг/кг	Средняя концентрация суммы 20 ПАУ, мкг/кг
Баренцево море, Демидовский ЛУ (n=7)	2,2	75,1
Баренцево море, Ферсмановский ЛУ (n=21)	2,8	68,9
Баренцево море, Медвежий ЛУ (n=14)	2,2	67,6
Баренцево море, Ледовое газоконденсатное месторождение (n=6)	2,6	74,3
Баренцево море (n=48)	2,5	70,1
Карское море, Скуратовский ЛУ (n=9)	0,8	31,7
Карское море, Нармейский ЛУ (n=10)	0,4	19,5
Карское море, Морской ЛУ (n=5)	0,6	25,0
Карское море (n=24)	0,6	25,2

Во многих странах в настоящее время не имеется экологических стандартов качества (EQS) донных отложений в своих законодательствах. В этих случаях часто используют значения, принятые в международных организациях (OSPAR, ICEA и др.). В связи с тем, что в Российской Федерации норматив установлен только для бенз(а)пирена в почве (ПДК 20 мкг/кг) и среднее содержание бенз(а)пирена в донных отложениях во всех местах отбора проб не превышает ПДК, для оценки степени загрязнения донных отложений Баренцева и Карского морей приоритетными ПАУ использовались нормативы, принятые в зарубежных системах (Норвегия, Швеция) 5-уровневой классификации загрязненности донных отложений ПАУ. Согласно эти системам, все пробы осадков, отобранные в Баренцевом и Карском морях, относятся к 1 и 2 классу с низкими концентрациями ПАУ. Проанализированные нами донные отложения Баренцева и Карского морей можно классифицировать, как мало загрязненные.

Максимальная концентрация BaP (4,0 мкг/кг) в Баренцевом море выявлена в одной из проб Ферсмановского ЛУ и в Карском море (4,3 мкг/кг) в пробе ДО Скуратовского ЛУ.

Среднее содержание бенз(а)пирена и∑ 20 ПАУ в ДО Баренцева м оря больше чем в донных отложениях Карского моря примерно в 3–4 раза. Средний процент содержания бенз(а)пирена в донных отложениях Баренцева моря (3,6 %) по отношению ко всем ПАУ также в 1,5 раза выше, чем в Карском море (2,4 %).

Следует также отметить, что и среднее содержание наиболее токсичных 5-7 ядерных ПАУ в Баренцевом море (56,1%) от суммы 20 ПАУ

примерно в 2 раза выше, чем в Карском море (31 %). Высокие концентрации канцерогенных ПАУ, составляющие более половины от суммарной концентрации ПАУ, указывают на их техногенное происхождение.

В Карском море на всех обследованных участках и Демидовском ЛУ в Баренцевом море преобладали 3-4 ядерные над 5-7 ядерными ПАУ. Более высокий процент низкомолекулярных ПАУ указывает на петрогенные источники.

Среди высокомолекулярных ПАУ содержится немало веществ, которые оказывают ярко выраженное канцерогенное, мутагенное и общетоксическое действие. Изомеры ПАУ с молекулярной массой 302, такие как дибенз(a,l)пирен, дибенз(a,i)пирен, дибенз(a,h)пирен, дибенз(a,e)пирен, являются мощными канцерогенными веществами, не уступающими по активности бенз(а)пирену, а иногда и превосходящими его. Содержание дибензпиренов в донных отложениях Баренцева моря в несколько раз выше их концентраций в Карском море.

Результаты обследования районов Баренцева и Карского морей указывают на незначительную антропогенную нагрузку на эти акватории.

УДК 543.544.5.068.7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИСФЕНОЛА А С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТВЁРДОФАЗНОЙ ЭКСТРАКЦИИ И ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ В ВОДЕ

Халиков И. С.

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

A method of determining Bisphenol-A in water with the use of the solid-phase extraction and HPLC has been developed.

Бисфенол А (2,2-бис(4-гидроксифенил)пропан; CAS 80-05-7; БФА) является необходимым ингредиентом в производстве поликарбонатов, полисульфонов, полиакрилатов, эпоксидных смол, лаков, резин, пленки ПВХ, антипиренов. Его производство в мире оценивается на уровне нескольких млн. тонн. Этот мономер (рис. 1) также может использоваться в качестве пластификатора, антиоксиданта, термостабилизатора, ингибитора полимеризации в получении разных видов пластмасс для пищевой и непищевой промышленности.

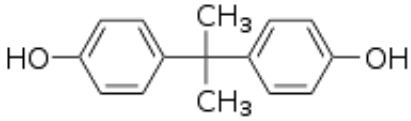


Рис. 1. Структурная формула БФА

БФА принадлежит к группе ксеноэстрогенов, которые могут разрушать эндокринную функцию и могут быть связаны с отрицательными воздействиями на репродуктивные системы животных и людей. Нарушения эндокринной системы могут привести: к некоторым гормональным видам рака, такие как рак простаты, рак молочной железы и рак щитовидной железы. БФА может индуцировать генетические аберрации и блокировать синтез тестостерона.

Бисфенол А следует рассматривать как вещество, которое может представлять опасность для жизни и здоровья человека. Всемирная организация здравоохранения пока не пришла к окончательному решению в отношении рисков, связанных с потреблением БФА. ПДК бисфенола А в воде – 0,01мг/л (ГН 2.1.5.1315-03).

Загрязнение природной среды, в том числе питьевой, речной и морской воды БФА вызвано тем, что он используется в широком спектре товаров, которыми пользуются каждый день потребители.

Исследования показывают, что БФА может повлиять на размножение и развитие водных организмов, рыбы среди которых, являются одними из наиболее чувствительных видов.

В нашей стране до последнего времени исследования уровней загрязнения БФА различных объектов природной среды почти не проводилось, поэтому в России нет аттестованных методик для определения БФА.

Нами предпринята попытка к разработке методики определения БФА в воде. Метод основан на твёрдофазной экстракции (ТФЭ) и высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с флуориметрическим детектированием.

Выделение БФА из воды проводили с помощью ТФЭ на полипропиленовых картриджах (1 мл, Supelco) с гидрофобным сорбентом С18 (100 мг, Waters) и использования вакуумного манифолда VacMaster-10. В ходе работы изучены условия сорбции и десорбции БФА на сорбенте, определены оптимальные элюенты и условия элюирования.

Очистку, активацию и кондиционирование картриджа проводили 2 мл ацетона, затем 2 мл этанола и 1 мл бидистиллированной воды. Анализируемый образец воды (100 мл) с добавлением 1 мл этанола пропуска-

ли через картридж со скоростью около 5 мл/мин. Далее картридж сушили под вакуумом в течение 3 мин и элюировали БФА (2´ 1 мл этанола).

Для идентификации и количественного определения использовали метод ВЭЖХ с флуориметрическим детектированием и использованием детектора на диодной матрице, что позволило обеспечить правильность идентификации. Измерения проводили на хроматографе «LC-20 Prominence» (Shimadzu) с колонкой Envirosep PP (125´ 3,2 мм, 5 мкм) и защитным картриджем C18 (4´ 2 мм) производства фирмы Phenomenex, в условиях изократического элюирования смесью ацетонитрила и воды (1/1 по объёму), при скорости потока 0,5 мл/мин и температуре колонки 40°C. Объем вводимой аликвоты – 10 мкл. Время удерживания БФА в этих условиях – 2,3 мин. Для регистрации пиков и количественного определения БФА, использовали флуориметрический детектор «RF-20A» с длинами волн возбуждения и эмиссии (230/310 нм) с применением программного обеспечения «LC Solution».

Степень извлечения БФА для разных видов воды составляла около 75 %. Предел обнаружения составлял около 2 нг/л (100 мл воды, 2 мл элюата). Увеличение объема анализируемой пробы воды и упаривание элюата (этанола) позволяет снизить предел обнаружения БФА в воде.

УДК 550.34.01

ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ АКУСТИЧЕСКОЙ 3D МОДЕЛИ ПО ДАННЫМ ЗОНДИРОВАНИЯ СРЕДЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКИМИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ

Либина Н. В.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр-т 36, г. Москва, 117997, 8(499)124-85-47
e-mail: lnatvit@mail.ru

The paper considers the construction of the 3D model according to the parametric echo-sounder profiling data. 3D model was calculated using the algorithm of the n-dimensional interpolation, using the properties of Markov chains.

В параметрических профилографах высокая направленность антенны при излучении низких, хорошо проникающих в грунт частот, позволяет добиться высокого разрешения и за счет этого получить детальную информацию об изучаемом участке, в частности решать задачу профилирования донных отложений. Профилограф проходя по галсу, принимает эхо-сигнал от донных осадков или заиленных объектов, расположенных непосредственно под антенной. Задачу поиска заиленных объектов в некоторой полосе может решать параметрический гидролокатор бокового обзора, принимающий сигналы обратного рассеяния от локальных объектов в поддонных слоях.

Система вторичной обработки и визуализации данных параметрического гидролокатора должна работать с трехмерным массивом результатов измерений, что принципиально отличает его от любого существующего геоакустического оборудования для морских исследований. Многолучевые эхолоты и гидролокаторы бокового обзора позволяют получать пространственные (площадные) данные о поверхности дна. В данных параметрического гидролокатора должна присутствовать еще и вертикальная компонента. Таким образом, возникает необходимость построения по результатам наблюдений 3D модели исследуемого участка. При площадной съемки выполняемой профилографом, т.е. по набору параллельных галсов, также целесообразно построение 3D сейсмоакустической модели изучаемой площади.

Специализированные программные комплексы трехмерного геофизического и геологического моделирования в основном рассчитаны на решение задач нефтегазовой геологии. Алгоритмы подобных программ ориентированы на очень хорошую изученность территории геологическими и геофизическими методами – предполагается, что для изучаемой территории существует плотная сеть скважин бурения и результатов обработки сейсмических профилей или трехмерной сейсморазведки. На основе этих данных на первом этапе проводится построение структурного каркаса модели месторождения, далее моделирование трехмерных кубов свойств геологических параметров. Соответственно такие программные комплексы имеют высокую стоимость и требуют мощных вычислительных средств.

Для обработки данных параметрических гидроакустических средств и создания трехмерных акустических моделей необходимо более доступное программное обеспечение, а главное менее трудоемкие и громоздкие алгоритмы.

Построение 3D модели можно разделить на этапы: подготовка данных инструментальных наблюдений; расчет 3D модели; визуализация модели:

1) подготовка данных: отбраковка, первичная обработка, фильтрация, преобразование форматов – выполняются программными средствами системы сбора и первичной обработки данных; типовыми программными средствами, после преобразования форматов данных;

2) расчет 3D модели: алгоритмы, разработанные для расчета 3D моделей, условно подразделяются на стохастические (вероятностные) и детерминированные (интерполяционные);

3) визуализация модели: в виде набора разрезов и срезов-сплайнов (слайсов) по кубу 3D модели; в трехмерной проекции.

В данной работе представлено построение трехмерной акустической модели по данным, полученным с использованием параметрического эхолота-профилографа SES-2000, летом 2014 г. в прибрежной зоне Черного моря.

Расчет трехмерной модели проводился по данным разрезов четырех профилей. Расстояние между профилями в среднем 100 м. Поскольку участок моделирования протяженностью 1,5 км не имеет ярко выраженных неоднородностей, в один из разрезов была искусственно внесена аномалия (объект). С учетом внесенных изменений вданные разреза, был также выполнен расчет 3D модели. На рис. 1 показана схема галсов (а), и один из разрезов (по галсу 2), полученный по данным параметрического профилографа (б), тот же разрез с искусственно введенным в подповерхностной области объектом (в). Пунктиром отмечен участок для построения 3D модели.

Для построения акустической 3D модели был применен алгоритм Марковского N-мерного моделирования [1], осуществляющий удержание в модели не значения координат точек 3х-мерного пространства с величиной соответствующих им амплитуд отражения, а вероятностный образ свойств моделируемых объектов. Создание вероятностного образа свойств объекта, осуществляется в условных единицах нечеткой привязки к границам классов, определенных на координатных шкалах. Далее по структурированной совокупности пространственных координат дается вероятностная оценка значений параметра в любой заданной точке модели. На выходе модели получается вероятностная оценка распределения акустических характеристик модели на плоскости сечения массива. Расчет 3D модели и «нарезка» разрезов осуществлялась с использованием специальной программы Fuzmark. Визуализация модели осуществлялась в виде набора разрезов при помощи программы Surfer.

На рис. 2 показаны соответствующие разрезы, полученные по первой и второй моделям. «Объект» введен в исходные данные второй модели. Разрезы рассчитаны через 50 м. X, Y заданы в соответствии со схемой галсов.

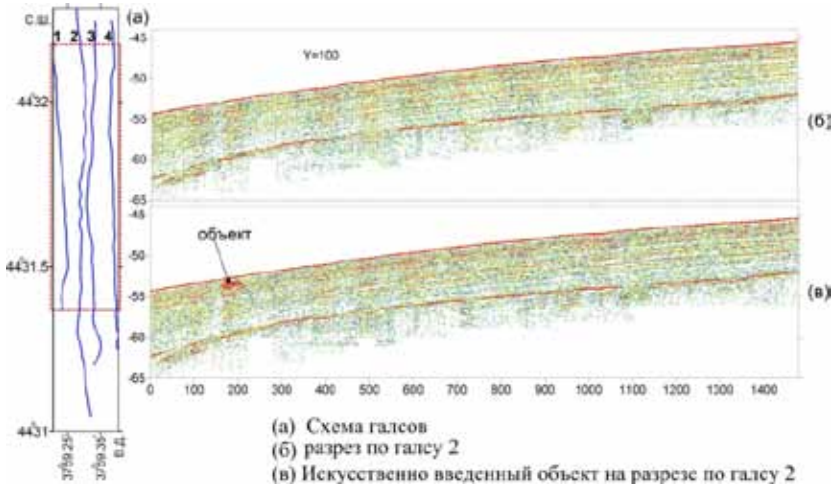


Рис. 1. Схема галсов и сейсмоакустические разрезы

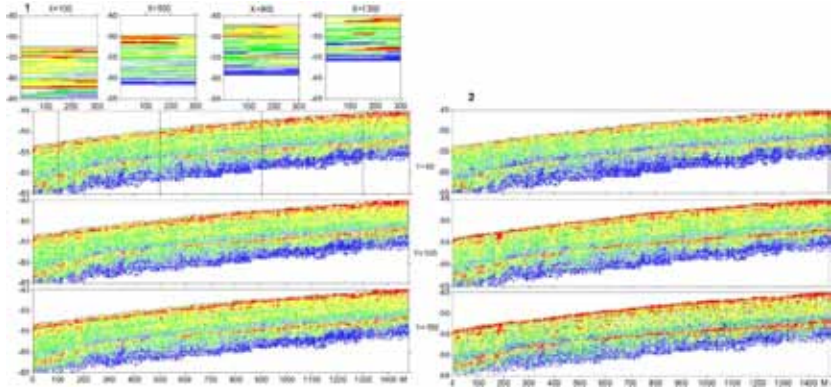


Рис. 2. Соответствующие разрезы моделей 1 и 2

Данная методика построения 3D моделей может быть применена также для создания гидроакустической модели при наличии соответствующих данных наблюдения в водной толще.

Блок исходных данных для расчета 3D модели должен представлять массив X, Y H, A, где X, Y – пространственные координаты, H – глубина, A – исследуемый параметр, в частности интенсивность (амплитуда) сигнала.

Работа выполнена при поддержке проекта 46П «Исследование и разработка параметрических гидроакустических средств и технологии их использования для поиска, идентификации и мониторинга объектов в водной среде, на поверхности дна и в толще неуплотненных осадков» по программе фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные основы прорывных технологий двойного назначения в интересах национальной безопасности».

Л И Т Е РА ТУ Р А

1. **Черников А. Г., Либина Н. В.** Новый алгоритм 3D-моделирования геологического строения подповерхностных отложений морских акваторий. Материалы XIII международной научно-технической конференции МСОИ-2013. Часть I. С. 272–276.

УДК 551.46.08

ГИДРОЛОКАТОР БОКОВОГО ОБЗОРА С АППАРАТНОЙ ЛЧМ СВЁРТКОЙ

Безрукин А. Г., Токмачев Д. А., Ченский А. Г.

НИУ ИрГТУ, ул. Лермонтова, 83, 664074, г. Иркутск, 89500973553, bezra2@mail.ru

The report provides a side-scan sonar with CHIRP technology, which uses FPGA to calculate the autocorrelation function during analog-to-digital conversion of the reflected signal.

В настоящее время продолжает активно развиваться направление использования сложных зондирующих сигналов в гидролокаторах бокового обзора. В частности, широкое применение находят сигналы с линейной частотной модуляцией [1].

В докладе представлен разработанный НИУ ИрГТУ макет гидролокатора бокового обзора с зондирующим ЛЧМ сигналом. Ключевой особенностью разработки является применение ПЛИС для вычисления автокорреляционной функции. Это позволяет сократить вычислительную нагрузку на ПК оператора и уменьшить объем передаваемой по сети информации от подводного блока на систему сбора данных, что особо актуально для автономных необитаемых подводных аппаратов.

Блок-схема ГБО показана на рис. 1. Зондирующий сигнал формируется микроконтроллером серии dsPIC30 в виде импульсов регулируемой ширины, поступающих на усилитель мощности. Принятые антеннами отраженные сигналы поступают на входной каскад, включающий программно настраиваемую временную авторегулировку усиления (ВАРУ) и дополнительное усиление, которое можно изменять в процессе работы ГБО. Затем сигнал оцифровывается 16-разрядным АЦП, и параллельно с этим по получаемым данным ПЛИС вычисляет автокорреляционную функцию путем сравнения сигнала с эталонной маской. Каждый цикл вычислений АКФ выполняется за период времени между получением двух соседних отсчетов с АЦП, равный 5 мкс. Для описанной задачи применена ПЛИС семейства Altera Cyclone II, работающая на тактовой частоте 66 МГц, и микросхема оперативной памяти типа SDRAM для накопления массива данных.

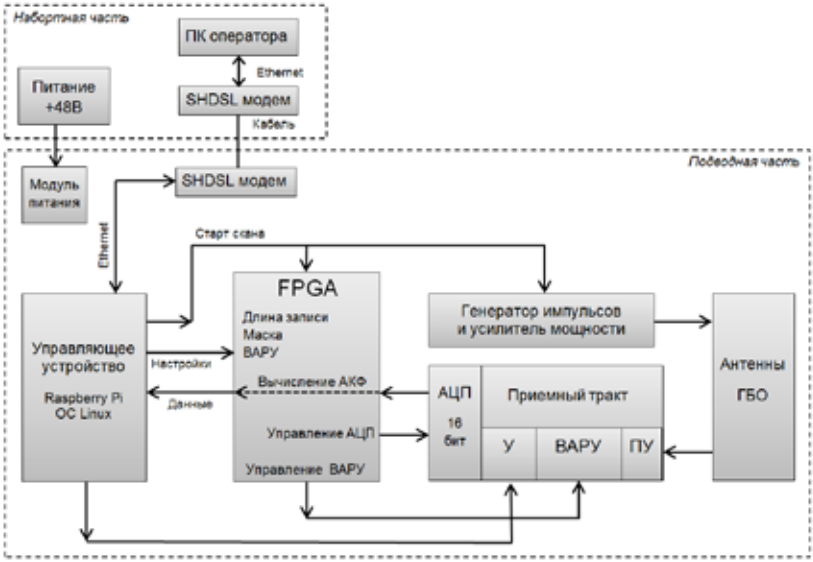


Рис. 1. Блок-схема ГБО

В процессе обработки выполняется прореживание данных путем выборки максимального значения из нескольких соседних, что позволяет уменьшить объем передаваемых по сети данных без существенной потери по разрешению.

Усилители и ПЛИС управляются по интерфейсу SPI одноплатным компьютером архитектуры ARM на базе операционной системы Linux. На нем запущен сервер, к которому по протоколу TCP/IP подключается клиентское программное обеспечение на ПК оператора. Клиентское ПО (рис. 2) осуществляет управление и настройку режимов работы ГБО, поддерживает различные варианты графического отображения принимаемых данных и их сохранение в форматы SN2 и XTF. Также в ПО предусмотрен приём данных GPS с TCP сервера и синхронизация времени ПК.

Основные характеристики:

Частоты ЛЧМ зондирующего сигнала:	65…85 кГц
Частота дискретизации АЦП:	200 кГц
Длительность сигнала:	100…300 мкс
Период излучения:	250…1000 мс
Рабочая глубина:	до 100 м
Угол раскрытия луча (вертикальный):	55°
Угол раскрытия луча (горизонтальный):	0,8°
Электропитание:	48 В
Потребляемая мощность в рабочем режиме:	до 12 Вт

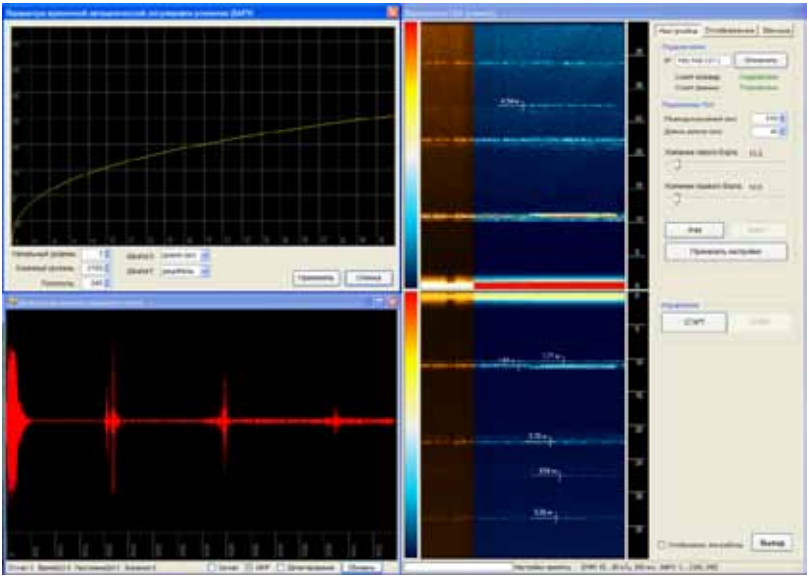


Рис. 2. Интерфейс ПО управления и сбора данных

В настоящее время проводятся лабораторные и полевые испытания опытного образца ГБО, доработка электронных, программных и конструктивных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Воронин В. А., Тарасов С. П.** Использование гидролокатора бокового обзора со сложным сигналом для решения задач прикладной гидроакустики // Известия южного федерального университета. Технические науки. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. №2(46). С. 65–69.

УДК 629.564.3

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ СУДА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Могутин Ю. Б.[1], Руденко М. С.[1], Нечволодов Л. В.[2]

[1]ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Московское шоссе, 44, 196158, г. Санкт-Петербург, 8(812)415-46-07, krylov@krylov.spb.ru

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

Two designs for research ships developed by FSUE «Krylov State Research Centre» with assistance of P.P. Shirshov Institute of Oceanology within the framework of FTP «Development of the Civil Marine Technique in 2009 – 2016» are presented in the report: Multifunctional research ship and all-purpose research and exploration ship.

В докладе представлены два проекта научно-исследовательских судов, разработанные ФГУП «Крыловский государственный научный центр» при участии Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН в рамках Федеральной целевой программы «Развитие гражданской морской техники» на 2009–2016 годы:

- многофункциональное научно-исследовательское судно (Многофункциональное НИС);
- многоцелевое судно для проведения научно-исследовательских и инженерно-изыскательских работ (Изыскательское НИС).

Реализация и защита национальных интересов Российской Федерации в области морской деятельности обеспечивается фундаментальными и прикладными исследованиями Мирового океана. Основной вклад в эти исследования вносит флот РАН. К настоящему времени входящие в него суда устарели физически и морально, так как находятся в эксплуатации по 25 лет и более. Поэтому остро назрела необходимость создания для РАН новых НИС, способных эффективно решать широкий спектр задач в области изучения океанов и морей, в том числе в арктическом регионе, что и послужило основанием для разработки рассматриваемых проектов.

Многофункциональное НИС (рис. 1) предназначено для проведения в Мировом океане, в первую очередь в приполярных районах, различного вида научно-исследовательских работ, фундаментального и прикладного значения, включая физические, химические, биологические, метеорологические, геологические, геофизические и другие виды исследований.

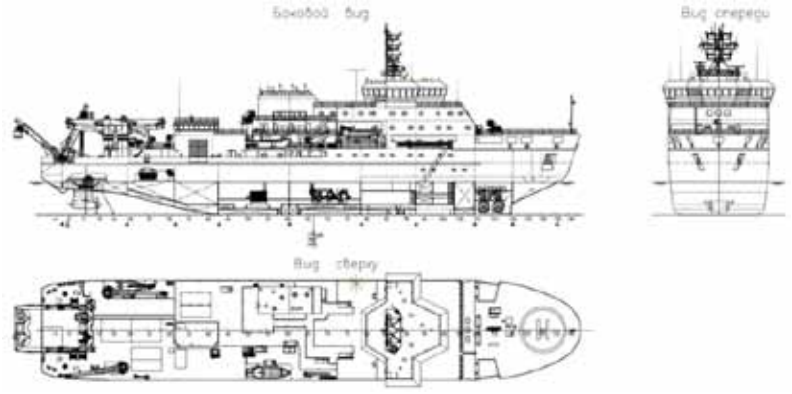


Рис. 1. Многофункциональное НИС

Изыскательское НИС (рис. 2) предназначено для проведения комплексных экологических и инженерно-изыскательских работ, а также исследований в области океанологии, гидрографии, геологии и геофизики, в том числе с использованием необитаемых телеуправляемых подводных аппаратов, с целью поиска полезных ископаемых, включая нетрадиционные.

Принятые архитектурно-конструктивные решения направлены на обеспечение рациональной организации научно-исследовательских ра-

бот, выполнения требований по размещению лабораторий и исследовательского оборудования, комфортных условий работы и отдыха экипажа и научного персонала.

Рис. 2. Изыскательское НИС

В соответствии с назначением на судах размещено большое количество разнообразного исследовательского оборудования, перечень и методы использования которого разработаны с привлечением ИО РАН.

Востребованность судов данного типа велика, поскольку в Арктике планируются большие объемы работ народнохозяйственного и оборонного значения, а на фрахтовом рынке нет судов с ледовым классом, соответствующим условиям этих районов.

Основные характеристики спроектированных судов приведены в табл. 1.

При разработке проектов в полной мере использованы возможности экспериментальной базы ФГУП «Крыловский научно-исследовательский центр». Были изготовлены модели и проведены испытания для определения показателей ходкости и управляемости, а также для отработки проектных решений по обводам корпуса и по движительно-рулевому комплексу проектируемых судов в гидродинамическом и циркуляционном бассейнах (рис. 3, рис. 4).

Технические проекты научно-исследовательских судов разработаны в соответствии с российскими и международными нормами и успешно прошли экспертизу в Российском морском регистре судоходства, Отраслевом научно-методическом центре охраны труда на морском транспорте и Центре гигиены и эпидемиологии на транспорте на предмет соответствия требованиям Санитарных правил для морских судов.

Таблица 1. Основные характеристики судов

Характеристика	Изыскательское НИС	Многофункциональное НИС
Класс	KM Arc4 [1] AUT1-ICS EPP ECO-S Special purpose ship	KM Arc6 [1] AUT1-ICS OMBO DYNPOS-2 EPP ECO-S Special purpose ship
Длина, м	74,67	109,0
Ширина, м	14,40	20,2
Высота борта, м	7,20	10,6
Осадка, м	4,0	6,18
Водоизмещение, т	2600	7662
Главная энергоустановка	дизель-электрическая, 2×1520 кВт	дизель-электрическая, 4×2610 кВт
Движители	Одна ВРК, 1×1850 кВт	2 полноповоротные ДРК 2×3200 кВт
Средства активного управления	1 носовое подруливающее устройство роторно-водометного типа 300 кВт	2 носовых подруливающих устройства типа «винт в трубе» 2×1200 кВт
Скорость, уз.	12	15
Дальность плавания, миль	6600	14000
Автономность, сут.	40	60
Количество мест для экипажа и научного персонала	40 и 4 запасных места	79 и 10 запасных мест
Количество / площадь лабораторий	8 / 250 м^2 + 4 съемные контейнерные лаборатории	12 / 430 м^2 + 4 контейнерные лаборатории

Рис. 3. Буксировочные испытания модели Изыскательского НИС в гидродинамическом бассейне ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Рис. 4. Модельные испытания Многофункционального НИС в циркуляционном бассейне ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Совместные усилия судостроителей и учёных-океанологов дали возможность создать проекты эффективных научно-исследовательских судов нового поколения.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации, 2013.

2. Российский Морской Регистр Судоходства «Правила классификации и постройки морских судов», Том 1-3/ СПб, РС, 2014 г.

3. СН 2641-82 «Санитарные правила для морских судов», 1984 г.

УДК 550.34

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В АКВАТОРИИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ И В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Ковачев С. А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Нахимовский пр. 36, 117997, г. Москва
+7 (499) 124 8547, kovachev@ocean.ru

Seismological monitoring using OBS and land based seismic stations at the west of the Kaliningrad region has revealed the microearthquakes, the epicenters of which are located in the area of development Kravtsovskoye marine hydrocarbon deposits (Baltic Sea). These weak earthquakes may have a technological nature.

Запад Калининградской области (Самбийский полуостров) и примыкающая к нему акватория Балтийского моря оказались в уникальном в сейсмологическом отношении районе. Это связано с двумя следующими обстоятельствами.

21 сентября 2004 г. здесь произошла серия землетрясений, очаги которых находились у северо-западного побережья Калининградской области в акватории Гданьского залива. Наиболее сильным был толчок в 13 ч. 32 мин. по Гринвичу (15 ч. 32 мин. местного времени), имевший магнитуду Ms = 4.3 [1]. Ранее этот район рассматривался, как слабосейсмичный, и относился к зоне возможных 5-ти бальных сейсмических сотрясений [1].

На акватории Балтийского моря к северу от Самбийского полуострова происходит интенсивная разработка морского нефтегазового Кравцовского месторождения. Откачка углеводородного сырья из недр земли может приводить к перераспределению пластового давления в земных недрах и, возникновению сильного землетрясения техногенной природы.

Начиная с 2007 г. по настоящее время Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН проводит на территории Самбийского п-ова и в примыкающей к его побережью акватории Балтийского моря сейсмологические наблюдения с использованием высокочувствительных автономных донных и наземных сейсмических станций. Наблюдения 2007 г. показали, что сейсмический процесс на Западе Калининградской области (Самбийский п-ов) продолжается и представлен отдельными слабыми сейсмическими событиями с магнитудами M_L=3.4–3.5 (локальная магнитуда по Рихтеру) [2]. Кроме того за весь период наблюдений (2007–2014 гг.) в пределах Кравцовского нефтегазового месторождения в Балтийском море обнаружено 71 землетрясение. Эти сейсмические события произошли вблизи нефтедобывающей платформы Д6 и имели магнитуды (M_L) от 0 до 3.3. Их следует рассматривать, как микроземлетрясения, которые не могут ощущаться людьми, и регистрируются только высокочувствительной сейсмометрической аппаратурой.

Для мониторинга Кравцовского месторождения используются автономные сейсмографы типа РС-4 разработки ИО РАН. Один устанавливается на дно Балтийского моря, два других на берегу Самбийского п-ова (рис. 1). Каждый год (2007–2014 гг.) продолжительность сейсмологического мониторинга составляет 3 месяца.

Наиболее сильные микроземлетрясения в районе платформы Д6 произошли в мае 2008 г. (всего 7 сейсмических событий). Их магнитуды определены в диапазоне M_L=2.5–3.3. Для проверки полученной информации были просмотрены оперативные бюллетени и представленные на сайтах записи сейсмических станций Швеции и Норвегии (система NORSAR, созданная для слежения за ядерными испытаниями на о. Новая Земля). Ближайшая сейсмическая станция Швеции расположена на расстоянии порядка 300 км от платформы Д6, а ближайшая сейсмическая станция системы NORSAR – на расстоянии свыше 500 км.

Из 7 землетрясений, зарегистрированных сейсмостанциями ИО РАН в 2008 г., все 7 сейсмических событий были отмечены системой NORSAR и 6 из них сейсмическими станциями Швеции.

Расстояния локализованных эпицентров до платформы Д6 по данным ИО РАН составили от 2.5 до 7.5 км. Очаги этих землетрясений были определены на глубинах от 1.3 до 8.5 км.

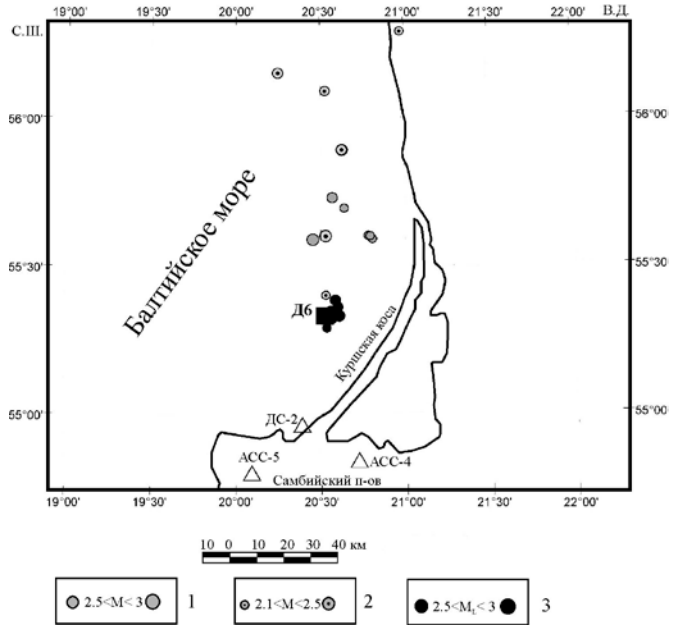


Рис. 1. Карта эпицентров микроземлетрясений, произошедших в мае 2008 года в районе нефтедобывающей платформы Д6 Кравцовского месторождения, построенная по следующим данным: 1 – сейсмической службы Швеции, 2 – системы NORSAR, 3 – наблюдений ИО РАН. Треугольники – автономные сейсмографы

В то же время сейсмическая система NORSAR и сейсмическая служба Швеции показывают, что эпицентры этих землетрясений удалены от Д6 на расстояния от 10 до 100 км и расположены не плотной группой, как в случае очагов, определенных по данным ИО РАН, а растянутой цепочкой меридионального простирания (рис. 1).

Локализация очагов, выполненная по данным ИО РАН представляется более достоверной, т.к. сейсмические станции ИО РАН расположены гораздо ближе к изучаемому объекту, чем станции Норвегии и Швеции.

Скорее всего, микроземлетрясения, происходящие в пределах Кравцовского месторождения в Балтийском море, имеют техногенную природу и связаны с интенсивной добычей нефти.

Представляется интересным сделать сравнение спектральных кривых сигналов микроземлетрясений предположительно техногенной и заведомо тектонической природы. С этой целью нами были выбраны записи сейсмических сигналов, полученные в районе центральной части Курильской островной дуги и в акватории Среднего Каспия. Выбранные сейсмические события близки по параметрам к балтийскому землетрясению, зарегистрированному 15 июля 09 час. 08 мин. Магнитуда курильского землетрясения составляла M_L=2.8, эпицентральное расстояние Δ =3 км. Магнитуда каспийского землетрясения составляла M_L=2.8, Δ =13 км. Магнитуда балтийского землетрясения составляла M_L=2.7, Δ =10 км.

Судя по спектральным кривым, показанным на рис. 2, спектральные составляющие балтийского землетрясения находятся в относительно узкой полосе частот 10–16 Гц в отличие от землетрясений явно тектонической природы (курильского и каспийского), для которых основная область спектра расположена в диапазоне 3–20 Гц.

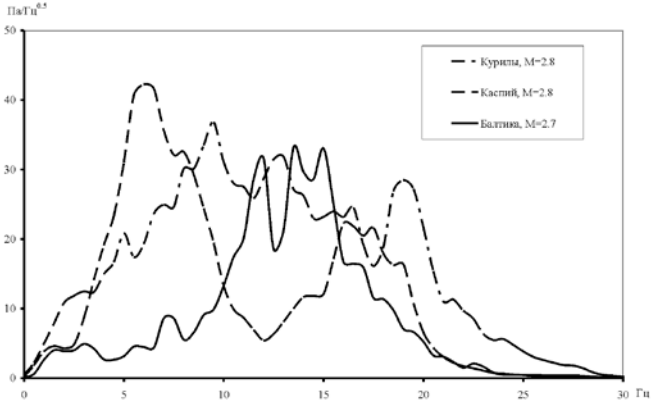


Рис. 2. Спектры сигналов микроземлетрясений (Курилы, Каспий, Балтика)

Кратковременный сейсмологический мониторинг с использованием автономных донных и наземных сейсмических станций на западе Калининградской области и в примыкающей акватории Балтийского моря позволил обнаружить слабые землетрясения (M_L=0–3.3), очаги которых приурочены к району разработки Кравцовского морского углеводородного месторождения. Обнаруженные слабые землетрясения, возможно,

имеют техногенную природу, связанную с нарушением пластового давления из-за интенсивной добычи углеводородного сырья.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Уломов В. И., Акатова К. Н., Медведева Н. С.** К оценке сейсмической опасности в Калининградской области // Физика Земли. 2008. №9. С. 3–19.

2. **Ковачев С. А.** Результаты сейсмологических наблюдений на западе Калининградской области и на акватории Балтийского моря // Физика Земли. 2008. № 9. С. 20–31.

УДК 551.465 (262.5)

ПОТОКИ КИСЛОРОДА И СЕРОВОДОРОДА НА ГРАНИЦЕ С ДОННЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ КАК МЕТОД ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Орехова Н. А., Коновалов С. К.

Морской гидрофизический институт,
ул. Капитанская, 2, 299011, г. Севастополь, +7(978)0240348 naorekh-2004@mail.ru

Numerical assessments of oxygen and sulfides fluxes at the sediment's boundary were given. It was determined direction of sulfides fluxes and sources of sulfides for bottom coastal waters. The renewal time concentration of oxygen and sulfides in the bottom water was defined for the Sevastopol Bay and region of the Tarkhankut Cape.

Верхний слой донных отложений является зоной активных биогеохимических процессов, значительных потоков веществ между отложениями и придонным слоем вод. В первую очередь это относится к кислороду и сероводороду. Наличие кислорода обеспечивает существование бентосных сообществ и консервацию биогенных элементов и загрязняющих веществ в донных отложениях. Уменьшение концентрации кислорода связано с его расходованием на окисление органического вещества, при дефиците кислорода происходит смена окислителей органического вещества, в частности, преобладающим процессом может

быть сульфатредукция, продуктом которой являются сульфиды. Поступление сероводорода в придонный слой воды способствует расходованию кислорода за счет их взаимодействия.

Существенное снижение содержания кислорода (гипоксия), а особенно его исчезновение и появление сероводорода (аноксия), ведут к разрушению экосистем, возникновению источников вторичного загрязнения и эвтрофированию вод, катастрофическому снижению рекреационного и биопродукционного потенциалов акватории, возникновению значительного экономического ущерба. Для прогноза изменений распределения кислорода и сероводорода в шельфовом и прибрежных районах моря, а также возникновения заморных явлений необходимы количественные оценки потоков кислорода и сероводорода на границе донных отложений с водой. В зависимости от распределения и величины потока кислорода и сероводорода на поверхности и в верхней части донных отложений изменяются характеристики зон дефицита кислорода в аэробной и прибрежной части Черного моря. В связи с этим исследование районов с различными условиями формирования донных отложений и источниками органического вещества, а также изменения распределения и потоков кислорода и сероводорода на поверхности и в верхнем слое донных отложений являются чрезвычайно актуальными задачами для побережья Крыма, имеющего первостепенное курортно-рекреационное значение и подверженного значительной антропогенной и техногенной нагрузке.

Для расчета потоков кислорода и сероводорода на границе с донными отложениями были изучены вертикальные профили высокого разрешения концентраций кислорода и сульфидов, полученных полярографическим метод анализа со стеклянным Au/Hg-микроэлектродом. Оценка потоков кислорода и сероводорода на границе и в толще донных отложений была выполнена с помощью стандартного подхода с использованием уравнения первого закона Фика, который учитывает пористость, градиент концентраций и коэффициент молекулярной диффузии:

$$J = -\varphi D_s dC/dZ, \quad (1)$$

где J – поток, М/год×м^2; φ – пористость; dC/dZ – градиент концентрации, М/м^3×м; D_s – коэффициент молекулярной диффузии с учетом вязкости, м^2/год.

$$D_s = D_0/\theta^2, \quad (2)$$

где D_0 – коэффициент молекулярной диффузии воды, м^2/год; θ – вязкость.

Вязкость (θ) связана с пористостью следующим уравнением:

$$\theta^2 = 1 - \ln(\varphi^2). \quad (3)$$

Коэффициенты диффузии сульфидов и кислорода для водной толщи взяты в [1]. Для донных отложений учитывалась температура придонного слоя воды, измеренная непосредственно в момент отбора проб. Для определения коэффициента молекулярной диффузии поровых вод донных отложений с учетом вязкости использовалось уравнение (2), пористость донных отложений была рассчитана по формуле (3). Расчетные значения коэффициентов диффузии для сульфидов изменялись от $1{,}286\times10^{-5}$ см^2/с при температуре 9°С до $1{,}785\times10^{-5}$ см^2/с при температуре 27°С, для кислорода – $2{,}29\times10^{-5}$ см^2/с при температуре 20°С. Полученные численные величины потоков позволили построить вертикальные профили потоков и сделать вывод о потреблении или выделении кислорода и сероводорода донными отложениями. Данные о величинах потоков кислорода и сульфидов и их концентрации в придонном слое вод позволяют рассчитать время полного обновления концентраций кислорода и сульфидов в придонном слое вод при условии отсутствия источников их поступления.

В качестве объектов исследования были выбраны акватории крымского побережья с различными условиями формирования донных отложений.

Акватория южного побережья м. Тарханкут (Каламитский залив) характеризуется наличием районов с ярко выраженной гипоксией. Это обусловлено высокой биологической продуктивностью метаноокисляющих бактерий в местах высачивающихся газов находящегося здесь поля метановых сипов, которое является естественным природным образованием. [2].

В районе мыса Тарханкут окисление органического вещества в донных отложениях (микробиологических матах) осуществлялся за счет кислорода сульфатов, а процесс сульфатредукции сопровождался образованием сероводорода. Концентрации сульфидов достигали 3000 мкМ/л, а рассчитанные величины потоков позволили определить микробиологические маты данного района, как источник сульфидов для водной толщи. Величины потоков сульфидов изменялись от ~0,1 М/год·м^2 до ~5 М/год·м^2. С учетом величин потоков на поверхности мата было рассчитано время, за которое будет достигнута подобная концентрация сульфидов в придонном слое воды (1 м над поверхностью отложений) в отсутствии внешних воздействий (например, гидродинамических воздействий приводящих к поступлению кислорода или полному разрушению микробиологических матов), которое изменялось от 7 до 75 дней в зависимости от сезона отбора проб.

Анализ колонок грунта и численный анализ распределения кислорода и сероводорода в донных отложениях Севастопольской бухты

(рис. 1) показал, что только на станции 23 (октябрь 2008 г.) и станции в районе Павловского мыска между станциями 22 и 20 (октябрь 2009 г.) существуют потоки кислорода на границе вода – донные отложения. Их величины составляли 0,81 М/год·м^2 для станции 23 и 4,69 М/год·м^2 для станции в районе Павловского мыска.

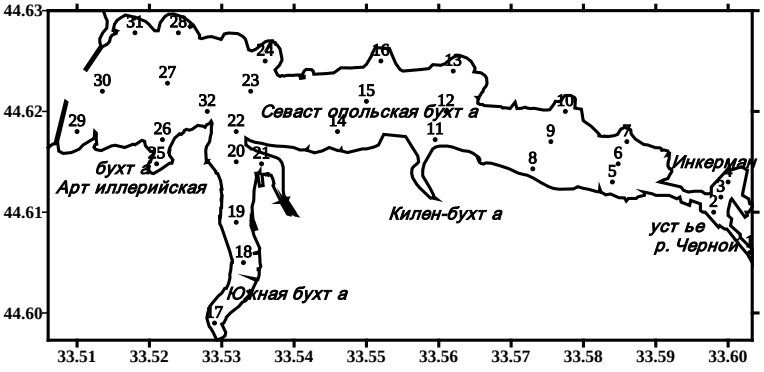


Рис. 1. Схема станций отбора проб донных отложений Севастопольской бухты

С учетом численной величины потока кислорода было рассчитано время, за которое кислород будет исчерпан из придонного слоя вод при условии отсутствия его источников. Эта величина составила 3,5 месяца на станции 23 и в районе Павловского мыска – 19 дней. Таким образом, за это время будет полностью израсходован кислород на окислительные процессы, что привет к гипоксии (аноксии) и переходу восстановленных форм соединений в придонный слой воды. Подобная ситуация наблюдалась в сентябре 2009 г. на станции 8, когда был обнаружен сероводород на глубине 19,5 м с концентрацией 37 мкМ/л.

Таким образом, очевидно, что расчет потоков кислорода и сульфидов, а так же времени обновления концентрации этих веществ в придонном слое воды являются удобным инструментом для оценки экологического состояния прибрежных акваторий, которые позволяют прогнозировать появление зон дефицита кислорода и развития гипоксии/аноксии при условии отсутствия дополнительных источников их поступления.

Работа осуществлялась при финансовой поддержке международного проекта 7-ой рамочной программы «Monitoring and observing oxygen depletion throughout the different Earth system components»; проекта

РФФИ № 14-45-01009 «Дефицит кислорода и биогеохимические процессы в донных отложениях бухт севастопольского региона»; проекта РФФИ № 14-45-01022 «Индексы оценки экологического статуса бухт в общей стратегии управления прибрежной средой в целях её устойчивого развития на примере б. Севастопольской (Черное море.)»

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Boudreau B. P.** Diagenetic Models and Their Implementation Modelling Transport and Reactions in Aquatic Sediments // Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Budapest; Hong Kong; London; Milan; Paris; Santa Clara; Singapore; Tokyo: Springer. – 1996. – 414 p.

2. **Гулин М. Б.** и др. Зообентос в микробиотопах метановых сипов шельфовой зоны крымского побережья // Системы контроля окружающей среды. – 2010. – № 14. – С. 225–229.

ПРОБЛЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ)

Островская Е. В.[1], Колмыков Е. В.[2], Асаева К. И.[1]

[1] ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр», ул. Ширяева, 14, 414045, г. Астрахань, 8(8512)30-34-70, eostrovskaya@mail.ru

[2] ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть», ул. Адмиралтейская, 1, 414000, г. Астрахань, 8(8512)40-27-47, Evgeny.Kolmykov@lukoil.org

This paper discusses various methods of the identification of hydrocarbons origin in the marine environments. The main difficulty is to discriminate between oil hydrocarbons from natural and anthropogenic sources. Various ratios and indices are used to overcome this problem. This paper provides an example for the Caspian Sea's sediments.

Проблеме идентификации источников нефтяных загрязнений в связи с ее высокой актуальностью в последние годы уделяется все большее внимание, что находит свое отражение в растущем количестве публикаций и патентов на эту тему [1, 7, 9], особенно применительно к нефтяному загрязнению природных вод [3, 4, 5, 11, 12].

Определение содержания нефти и нефтепродуктов в природных объектах является сложной аналитической задачей, что объясняется многокомпонентностью и изменчивостью их состава. Одна из главных трудностей интерпретации данных о нефтяном загрязнении моря, особенно в случае повышенных фоновых уровней, связана с естественным биогенным происхождением многих углеводородов (УВ), характерных для химического состава нефти [5, 6, 10], а также с естественным истечением нефти из расположенных на морском дне сипов [3, 4, 9].

Поскольку нефтяные и биогенные углеводороды присутствуют обычно совместно, поиск и использование критериев их индикации основаны на выявлении тонких различий их химического состава [3, 5, 11, 12].

С 1994 г. в нашей стране действует «Инструкция по идентификации источника загрязнения нефтью водного объекта», утвержденная приказом Министра охраны окружающей среды и природных ресурсов №241 от 02.06.94. Этот документ предусматривает идентификацию источника нефтяного загрязнения путем последовательного применения двух методов: инфракрасной спектроскопии (ИС) и газожидкостной хроматографии (ГЖХ) [7].

В последние годы в международном экспертном сообществе становится все более популярной процедура «отпечатка пальцев» (fingerprinting), основы которой были заложены в работах Вонга [9], Мерфи и Моррисона [8]. Как правило, для идентификации источника измеряют п-алканы, ациклические изопреноиды, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), алкилированные и серосодержащие ПАУ, биомаркеры тритерпен и стеран, а также неуглеводородные параметры, позволяющие еще более точно идентифицировать источник (например, изотопы или металлы). Для химического анализа проб используются методы газовой хроматографии с пламенной ионизацией и масс-спектрометрией [9]. Успех этих количественных методов можно объяснить применением последовательной, пошаговой процедуры и набором статистических методов обработки результатов химического анализа вместо качественного сличения и субъективной интерпретации получаемых хроматограмм.

В качестве молекулярных маркеров при анализе алифатических углеводородов обычно используются следующие соотношения в спектре алканов [2, 4]: отношение концентраций пристана и фитана, индекс CPI и т.п.

Весьма показательным для интерпретации результатов химико-аналитических исследований углеводородов и идентификации их происхождения является также различие в компонентном составе ПАУ. Для установления их происхождения эффективно использование соотноше-

ний определенных гомологов, маркирующих их состав, например, отношений концентраций фенантрена и антрацена (Ф/АН) или флуорантена и пирена (ФЛ/П) [4, 12].

Для выяснения происхождения ПАУ в донных осадках северо-западной части Каспийского моря, отобранных осенью 2012 г. мы рассчитали соотношения их концентраций, соответственно [4, 10, 12]. В таблице приводятся средние для района значения и разброс величин этих маркеров. Анализ маркеров показывает, что полиароматические углеводороды осадков северо-западной части Каспийского моря имеют смешанный генезис, однако большая их часть, по всей вероятности, нефтяного происхождения.

Таблица. Сравнительный анализ маркеров ПАУ, рассчитанных для донных отложений северо-западной части Каспийского моря

Маркеры	Акватория Северного Каспия (2012 г.)	Интерпретация маркеров [4, 10, 12]
Ф/АН	0-17,04 (4,24)	>10 –нефтяные ПАУ или интенсивный диагенез
Н/Ф	0-27,5 (3,39)	>1 – невыветренные нефтепродукты
БАН/(БАН+ХР)	0-5 (1,06)	>0,35 – пирогенные ПАУ <0,2 – нефтяные ПАУ
%ПЛ от суммы ПАУ	0-25 (5,0)	терригенный растительный материал
(П+БП)/(Ф+ХР)	0-11 (1,15)	>1 –пирогенные ПАУ
П/ПЛ	0-2,26 (0,44)	>1 –пирогенные ПАУ
ФЛ/(ФЛ+П)	0-1 (0,42)	<1 – пирогенные ПАУ

Примечание: в скобках приводятся средние по району значения

АН – антрацен, БАН – бенз/а/антрацен, БП – бен/а/пирен, Н – нафталин, П – пирен, ПЛ – перилен, Ф – фенантрен, ФЛ – флуорантен, ХР – хризен

Расчет маркеров пирогенных ПАУ (аналогично [10]) показал, что в донных отложениях присутствуют пирогенные ПАУ – продукты сгорания угля и различных нефтепродуктов, причем в прибрежной зоне преобладают полиарены, поступающие с суши (продукты сжигания угля и мазута как топлива, использующегося в теплоэнергетике), а в осадках открытого моря – полиарены, образующиеся при сжигании дизельного топлива (судоходство).

Таким образом, последовательный подход, сочетающий использование последних достижений аналитических методов идентификации углеводородов с применением критериев интерпретации состава углеводородов (биомаркеров, индексов, соотношений концентраций отдельных углеводородов и/или их групп и т. д.), позволяет структурировать процедуру идентификации и с достаточной степенью точности определить происхождение нефтяного загрязнения в морской среде.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Бродский Е. С.** Идентификация нефтепродуктов в объектах окружающей среды с помощью газовой хроматографии и хроматомасс-спектрометрии / Е.С. Бродский, И.М. Лукашенко, Г.А. Калинкевич // ЖАХ – 2002. – Т.57, № 6. – С. 592 – 596.

2. **Другов Ю. С.** Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов / Ю.С. Другов, А.А. Родин. – М.: БИНОМ, 2014. – 270 с.

3. **Немировская И. А.** Нефть в океане. Загрязнение и природные потоки. – М.: Научный мир. – 2013. – 432 с.

4. **Немировская И. А.** Углеводороды в океане (снег–лед–вода–взвесь–донные осадки). – М.: Научный мир. – 2004. – 328 с.

5. **Никаноров А. М.** Проблемы нефтяного загрязнения пресноводных экосистем / А.М. Никаноров, А.Г. Страдомская. – Ростов-на-Дону: Изд-во «НОК». – 2008. – 222 с.

6. **Патин С. А.** Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа. – М.; ВНИРО. – 1997. – 349 с.

7. **Семенов В. В.** Экоаналитическая идентификация источников загрязнений нефтяными углеводородами / В.В. Семенов, О.Ю. Бегак, М.А. Пименова, А.В. Носевич, Г.К. Ивахнюк // Разведка и охрана недр. – 2005. – № 5. – С. 57–61.

8. Introduction to environmental forensics / B.L. Murphy, R. Morrison (eds.). – Elsevier. – 2007. – 719 p.

9. Oil Spill Environmental Forensics: Fingerprinting and Source Identification / Z. Wang, S.A. Stout (eds.). – Elsevier. – 2007. – 565 p.

10. **Tolosa I.** Aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments / I. Tolosa, S. de Mora, M.R. Sheikholislami, J.-P. Villeneuve, J. Bartocci, C. Cattini // Marine Pollution Bulletin. – 2004. – № 48. – P. 44–60.

11. **Volkman J. K.** Identification of natural, anthropogenic and petroleum hydrocarbons in aquatic environments / J.K. Volkman, D.G. Holdsworth, G.P. Neill, H. J. Bavor Jr. // Science of the Total Environment. – 1992. – V.112. – P. 203–219.

12. **Yunker M. B.** PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition / M.B. Yunker, R.W. Macdonald, R. Vingarzan, R.H. Mitchell, D. Goyette, S. Sylvestre // Organic Geochemistry. –2002. – V. 33. – P. 489–515.

ПОТОК CO_2 НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ВОДА-АТМОСФЕРА – ПОКАЗАТЕЛЬ НАПРАВЛЕНИЯ И ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ЦИКЛА УГЛЕРОДА

Хоружий Д. С., Медведев Е. В., Коновалов С. К.

Морской гидрофизический институт,
299011, ул. Капитанская, 2, г. Севастополь, +7-8692-54-04-52
khoruzhiy@mail.ru

Определены направления и абсолютные величины потока CO_2 между морем и атмосферой в разные сезоны. Направление потока CO_2указывает на превалирование неорганической составляющей цикла углерода в теплое время года и его органической составляющей в холодное время года.

Изучение цикла углерода в прибрежных водах представляет особый интерес ввиду значимости роли этих областей в глобальном круговороте углерода: по существующим оценкам на долю шельфовых вод приходится около 20% суммарной первичной продукции Мирового океана [1].

Гидрохимические характеристики шельфовых вод зависят от большего числа факторов по сравнению с водами открытых акваторий. В числефакторов, влияющих на свойства шельфовых вод, необходимо отметить прибойную деятельность, терригенный и антропогенный сток, а также взаимодействие с донными отложениями.

Исследование особенностей функционирования цикла углерода в Черном море отличается некоторыми особенностями вследствие специфики гидрохимических характеристик черноморских вод: их соленость почти вдвое ниже той, что характерна для океанических вод, а содержание растворенного неорганического углерода примерно в 1,5 раза выше, чем в океанах. Экосистемы шельфовой зоны функционируют в условиях интенсивной антропогенной нагрузки, следствием которой является поступление в прибрежные акватории значительных количеств аллохтонного органического вещества и биогенных элементов.

Для оценки состояния цикла углерода в экосистемах шельфа наиболее удобен критерий, который может быть определен на основании результатов прямых измерений с минимальным использованием эмпирических величин. Поток CO_2 между морем и атмосферой представляется наиболее соответствующим этим условиям показателем.

С 2009 г. сотрудниками отдела биогеохимии моря МГИ начаты исследования, целью которых являлось изучение характеристик потока CO_2 на границе раздела море-атмосфера у побережья Крыма. Для выполнения поставленной задачи на стационарной океанографической платформе (п. Кацивели) проводились прямые измерения равновесного парциального давления CO_2 (pCO_2) и концентрации растворенного неорганического углерода (TCO_2) в морской воде, а также pCO_2 в атмосфере [2, 3].

Для района исследований характерны регулярные апвеллинги – подъемы к поверхности холодных глубинных вод. При наступлении апвеллингапроисходит резкое понижение температуры поверхностных вод, что отражается на соотношениях между компонентами карбонатной системы. Глубинные воды содержат большое количество биогенных элементов, которые в результате апвеллинга попадают в поверхностный слой и становятся доступными для продуцентов.

Цикл углерода в Мировом океане рассмотрен во многих работах. Выделены два основных механизма, участвующих в обмене углерода между водой и атмосферой – физический и биохимический. Действие первого обусловлено зависимостью растворимости CO_2 от температуры, что обусловливает зависимость физической составляющей от вертикального перемешивания вод, в частности, от апвеллингов [4].

В функционировании биохимического механизма принято выделять две составляющие. Первая – это карбонатный «насос», в результате функционирования которого происходит образование и осаждение карбоната кальция с одновременным высвобождением углекислого газа и эвазией его в атмосферу (1):

$$Ca^{2+} + 2HCO_3^- \leftrightarrow CaCO_3 + H_2O + CO_2. \quad (1)$$

Второй составляющей является биологический «насос», функционирование которого обусловлено деятельностью гидробионтов (2):

$$CO_2 + H_2O \leftrightarrow CH_2O + O_2. \quad (2)$$

В зависимости от превалирования в экосистеме в данный момент времени тех или иных процессов как биогенной, так и абиогенной природы, смещение равновесий в системах (1) и (2) может приводить как к поглощению углекислого газа из атмосферы, так и к эвазии CO_2.

Данные наблюдений, выполненных в разные сезоны, были использованы для расчета потоков CO_2 между морем и атмосферой. Расчеты выполнялись с использованием полуэмпирического уравнения (3), предложенного Ю.И. Ляхиным [5]:

$$F_{CO_2} = P_э n_v \text{ а¢}_{и,\text{ э}} \text{ D}_{\ 2}, \qquad (3)$$

где а¢$_и$ – коэффициент инвазии при $\text{D}P_{CO_2} = P_{CO_2(воздух)} - P_{CO_2(вода)} > 0$, а¢$_э$ – коэффициент эвазии при $\text{D}P_{CO_2} = P_{CO_2(воздух)} - P_{CO_2(вода)} < 0$, n_v – интегральный коэффициент, отражающий состояние поверхности моря (волны, пена, брызги) и показывающий во сколько раз увеличивается скорость газового обмена при различных скоростях ветра над поверхностью моря по сравнению с идеальным штилем.

Методика расчета а¢$_{иэ}$ и n_v приводится в работе [5].

На рис. 1 представлены графики межсуточных изменений потока CO_2 по данным трех экспедиций, проходивших в мае, октябре и ноябре 2012 г. (*а), б)* и *в)* соответственно).

На графиках прослеживается межсезонная тенденция в изменении направления потоков: во время майской съемки наблюдалась устойчивая эвазия CO_2 в атмосферу, в октябре система была близка к равновесию, а в ноябре в течение всего времени наблюдений происходило поглощение CO_2 морской водой.

Сопоставление данных измерений P_{CO_2} с определявшимися в момент съемки гидрологическими характеристиками вод указывает на существенное, но не первостепенное значение температуры вод как фактора, влияющего на поток CO_2. В частности, во время майской экспедиции наблюдался длительный апвеллинг, в результате которого температура воды была ниже, чем в октябре или ноябре. Тем не менее, направление потока CO_2 не изменилось, а лишь уменьшилась его интенсивность.

Аналогичные результаты были получены и в ходе последующих наблюдений 2013–2014 гг. – в теплое время года наблюдалась эвазия CO_2, а в холодное время года – устойчивая инвазия CO_2 из атмосферы. На основании этих данных можно говорить о сезонной смене преобладания карбонатной и органической составляющих цикла углерода в прибрежных водах Черного моря: первая является доминирующей в теплое время года, а вторая – в холодное.

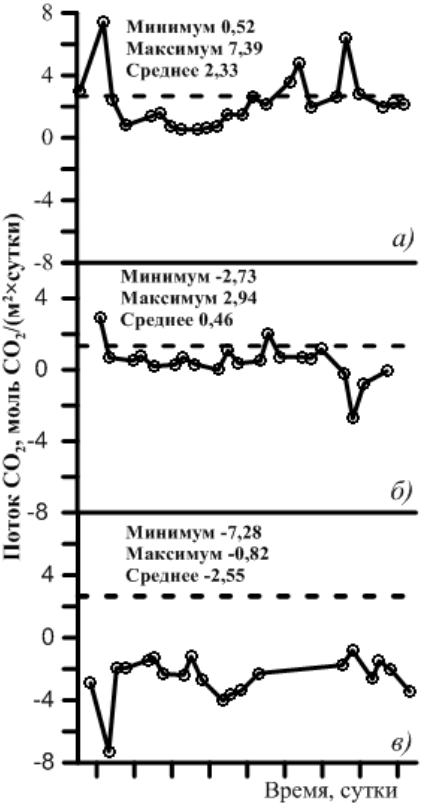


Рис. 1. Изменения потока CO_2 между морем и атмосферой в 2012 г.

Результаты исследований позволяют предполагать наличие сезонного источника органического углерода в прибрежных водах. Установление причин наблюдаемой закономерности требуют дальнейших исследований.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Borges A.** Do We Have Enough Pieces of the Jigsaw to Integrate CO_2 Fluxes in the Coastal Ocean? // Estuaries. – Vol. 28. – No. 1. – February 2005. – p. 3–27

2. **Хоружий Д. С.** Опыт прямого определения парциального давления углекислого газа (pCO_2) и концентрации растворенного неорганического углерода (TCO_2) в прибрежных водах Черного моря летом 2009 г. //Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь, 2009. – вып. 20. – С. 195 – 203.

3. **Хоружий Д. С., Коновалов С. К.** Суточный ход и межсуточные изменения содержания углекислого газа и растворенного неорганического углерода в прибрежных водах Черного моря. // Морской гидрофизический журнал. – 2014 – №1. – С. 28 – 43.

4. **Sallie W. Chisholm.** Oceanography: Stirring times in the Southern Ocean. // Nature. – Vol. 407. – 12 October 2000. – p. 685–687.

5. **Ляхин Ю. И., Александров В. П., Пальшин Н. И.** Расчет баланса обмена CO_2 между океаном и атмосферой по акватории Атлантического, Индийского и Тихого океанов. // Исследование и освоение мирового океана. – Л.: Ленинградский гидрометеорологический институт. 1978, Вып. 65. С.48–60.

УДК 553.981.4

ВЛИЯНИЕ ОТБОРА И ХРАНЕНИЯ ПРОБ ВОДЫ НА ПОГРЕШНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ МЕТАНА

Ковалева Е. С.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
г. Москва, Нахимовский пр., д. 36, 117997, 8(499)124-77-31,
kovaleva_es@ocean.ru

Paper presents results of working in natural water methane evaluation by head space analysis. Experimental series with chemical utensil of various volumes as well as different conditions and time of water samples' storage are discussed.

Изучение процессов формирования метана в природных водах является одной из задач современных комплексных гидрологических и океанологических исследований. Интерес к этому вопросу во многом вызван проблемой поиска нефтегазоносных участков дна акваторий, где анализ углеводородных газов приобретает большое практическое значение [1].

Метан является важным звеном в цепи биогеохимического круговорота веществ [2]. Образованный при разложении органического материала метан служит показателем различных биогеохимических процессов в пресноводных и морских акваториях.

Наконец все большее внимание в настоящее время уделяется вопросу о вкладе метана в парниковый эффект нашей планеты. Содержание этого газа в атмосфере составляет всего 1,8 ppm, однако активность метана примерно в 20 раз выше активности углекислого газа [3].

Метан довольно устойчив к химическим воздействиям, поэтому определение его концентраций в воде производится с помощью дегазации проб и дальнейшего газохроматографического анализа или контактным методом, с применением датчиков. Разнообразие технологий дегазации включает в себя барботирование, вакуумную, термовакуумную, ультразвуковую, фазово-равновесную методики. Барботирование представляет собой пропускание через воду газовых или воздушных пузырей с помощью специальных абсорбирующих трубок. При этом создается большая межфазная поверхность, что обеспечивает полноту выхода газа при продолжительной и интенсивной продувке. В процессе вакуумной и термовакуумной дегазации происходит понижение давления, вследст-

вие чего падает растворимость газов и они удаляются из воды. Методика вакуумного выделения газа активно используется в геологических работах, связанных с поиском и разведкой нефти и газа (газовый каротаж). Вышеперечисленные технологии отличаются сложностью и громоздкостью оборудования, что не позволяет использовать их повсеместно, особенно в полевых работах. При ультразвуковой дегазации жидкость обрабатывается акустическими колебаниями ультразвукового диапазона; главным преимуществом этого метода является быстрота извлечения газа. Однако самостоятельное применение такой технологии ограничено и возможно лишь для пересыщенных растворов.

В современных исследованиях содержания метана в природных водах успешно применяется метод фазово-равновесной дегазации проб воды [4], имеющий аналог headspace analysis в зарубежной литературе. Такая методика является удобной для использования в полевых условиях, благодаря своей простоте и малым временным затратам. Суть методики заключается в следующем. Проба воды объемом $V_в$ с концентрацией метана $C_г$ помещается в герметичную емкость, часть которой заполнена газом с некоторой начальной концентрацией метана, для простоты предположим, что эта концентрация равна нулю (при необходимости в дальнейших расчетах это упрощение учитывается). После интенсивного встряхивания емкости и установления фазового равновесия часть метана переходит из воды в газовую фазу. Связь между концентрацией метана в газовой и жидкой фазах выражается законом Генри (при постоянной температуре растворимость газа в данной жидкости прямо пропорциональна парциальному давлению этого газа над раствором):

$$C_г = a \cdot C_в \,, \qquad (1)$$

где $C_г$ – концентрация газа в газовой фазе, $C_в$ – концентрация в воде, a – коэффициент растворимости Генри (1). Обозначим индексом 0 начальные концентрации, а индексом 1 получившиеся после установления фазового равновесия, получим следующую систему из двух уравнений:

$$C_{в0} \cdot V_в = C_{в1} \cdot V_в + C_г \cdot V_г,$$
$$C_{в1} = a \cdot C_г.$$

Подставляя $C_{в1}$ из второго уравнения в первое, получим связь между содержанием метана в газовой фазе и начальным содержанием метана в воде в виде:

$$C_{в0} = C_г \cdot (a + V_г / V_в) \,. \qquad (2)$$

Уравнение (2) дает искомую связь между измеряемой хроматографически концентрацией метана в газовой фазе и искомой концентрацией метана в пробе воды.

Для работы с низкими концентрациями метана в воде, близкими к равновесным значениям с атмосферным воздухом, необходима большая точность определения. Если при создании газовой фазы в пробе воды не используются особо чистые газовые смеси, то прежде всего в расчетах необходимо учесть содержание метана в начальной газовой фазе. Наиболее удобным в данном случае является использование окружающего атмосферного воздуха в качестве газовой фазы.

При необходимости формула расчета концентрации метана в воде может быть усовершенствована введением некоторых поправок, например поправкой на разрежение газовой фазы в процессе дегазации пробы шприцем. В условиях работы с низкими концентрациями, близкими к равновесному содержанию с атмосферным воздухом, требуется также повышение чувствительности определения, которое достигается путем подбора определенного соотношения газовой и жидкой фаз в пробе воды.

На различных этапах работы с методом фазово-равновесной дегазации проб воды существует ряд случайных и систематических погрешностей, которые необходимо учитывать для получения достоверных результатов исследований. Эти погрешности могут быть вызваны использованием разных средств первичного отбора воды (батометр, ведро), промежутком времени, через которое проба воды будет помещена в герметичную емкость, неточностями в задании определенного соотношения объемов жидкой и газовой фаз в емкости, способом и длительностью хранения проб воды, интенсивностью и временем их встряхивания. Кроме этого существует целый ряд инструментальных погрешностей как в процессе отбора проб воды, так и при их дегазации, а также приборных ошибок, возникающих непосредственно во время хроматографического анализа.

В настоящей работе мы рассмотрим, какие погрешности существуют при определении концентраций метана в пробах воды, содержащихся в емкостях различного объема, а также хранящихся различными способами (не зафиксированные и зафиксированные) и разное время. Пробы воды для анализа были отобраны единовременно в поверхностном слое реки Северная Двина. Нами было поставлено три эксперимента. Цель первого – установить зависимость точности определения концентраций метана от объема используемой посуды. Во втором эксперименте анализировались различия погрешностей для фиксированных и не фиксированных проб воды во флаконах одинакового объема. Третий эксперимент направлен на выявление характера изменений концентраций метана в пробах, хранящихся длительное время.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Егоров, А. В., Лобковский Л. И., Ковачев С. Л.**, и др. Метановая аномалия в водах Анапского шельфа и ее возможная связь с нефтегазоносными структурами. // Океанология, 2008. Т. 48. № 1. С. 73–82.

2. **Егоров А. В.** Биогеохимия метана в осадках Балтийского и Черного морей: кинетические модели диагенеза. // Океанология, 2000. Т. 40. № 5. С. 600–606.

3. **Бажин Н. М.** Метан в атмосфере // Соросовский образовательный журнал, 2000. Т. 6. №3. С. 52–57.

4. **Большаков А. М., Егоров А. В.** Об использовании методики фазово-равновесной дегазации при газометрических измерениях в акваториях. // Океанология, 1987. Т. 27. № 5. С. 861–862.

УДК 551.465

КОРРЕЦИЯ ИНЕРЦИОННОСТИ ЗОНДОВЫХ ДАННЫХ (ТЕМПЕРАТУРА И КИСЛОРОД) ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ УДНА МЕТОДОМ: СДВИГ И ОПЕРЕЖЕНИЕ

Стунжас П. А.[1], Тищенко П. Я.[2]

[1]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, Москва, (499) 124-77-42, факс (499) 124-59-83.
E-mail – pastunzhas@ mail.ru
[2]Тихоокеанский институт океанологии ДВО РАН,ул. Балтийская, 43. 690041, Владивосток. tpavel@mail.ru

Data obtained by SBE19+ and Logger profilers are needed in correction for bottom layer with 3-5 meters thickness. The previously developed method was used for this correction: shift and proactive taking into account the difference between the data obtained “after” and “before” of the current value.

В августе 2013 г. в Дальневосточном заповеднике была обнаружена аноксия вод на глубинах 29–35 м в прибрежной депрессии рельефа. Для анализа ситуации использовали зонды: SBE19+ и Логгер (RINKO-USB) с частотами опроса 4 и 2 Гц, соответственно). Для исправления солености (*S*) по SBE (рис. 1) корректировали T по SBE, так как T по Логгеру, хотя имела лучшее разрешение, но с ней не совпадала. Данные по элек-

тропроводности (E), отсутствовавшие в протоколе измерений, восстанавливались по линейному уравнению, так как диапазон изменений нужных параметров был мал:

$$S = E\times(1.0892 - T\times 0.011843). \quad (1)$$

Хотя профили T и S были искаженными, профиль E оказался гладким и «естественным» (рис. 1), какими должны были стать профили T и S.

Для коррекции T сначала производился сдвиг T на 1 или 2 кадра вперед (T_1 и T_2, соответственно). Для них по (1) рассчитывалось $S(T_1)$ и $S(T_2)$. Из рис. 1 видно, что измеренная S имела два «клюва» в сторону уменьшения, в случае $S(T_1)$ эти «клювы» уменьшились, но не до конца, а в случае $S(T_2)$ – они уже обернулись в сторону увеличения (см. рис. 1). Окончательная коррекция T делалась так:

$$T_{\text{расч}} = T_1 + (T_2 - T_0)\times 0.9. \quad (2)$$

Первоначальная T и $T_{\text{расч}}$ показаны на рис. 1. Видно, что параметры: E, $T_{\text{расч}}$ имеют в зоне аноксии похожие профили, профиль $S(T_1+dT)$ стал приемлемым, хотя его полностью исправить не удалось, о чем говорит наличие на нем 2-х небольших экстремумов.

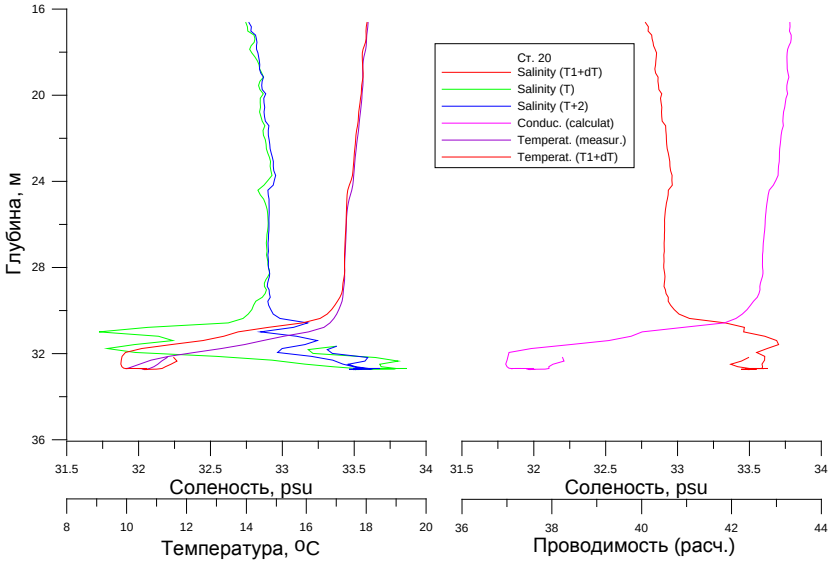


Рис. 1. Коррекция нижней части профилей T и S (см. текст)

Коррекция профилей O_2. В измерениях использовали оптические датчики: производства г. Жуковский (Жук), электрически связанный с SBE19+, и Логгер. Они в какой-то степени страховали друг друга. Отечественный датчик хорошо зарекомендовал себя при работе на Черном море [1], где была разработана коррекция инерционности (τ~5 сек) по 20 точкам. Однако инерционные характеристики Логгера оказались лучше, чем у Жука (τ~2 против 5 сек), поэтому обрабатывались данные только первого (рис. 2). Здесь по оси X отложены номера строчек данных обоих датчиков так, чтобы профили глубины на них совпали. Видно, что показания Логгера достигают минимальных значений лишь с небольшим отставанием от достижения зондом дна, а спад показаний датчика Жук затягивается до начала подъема зонда.

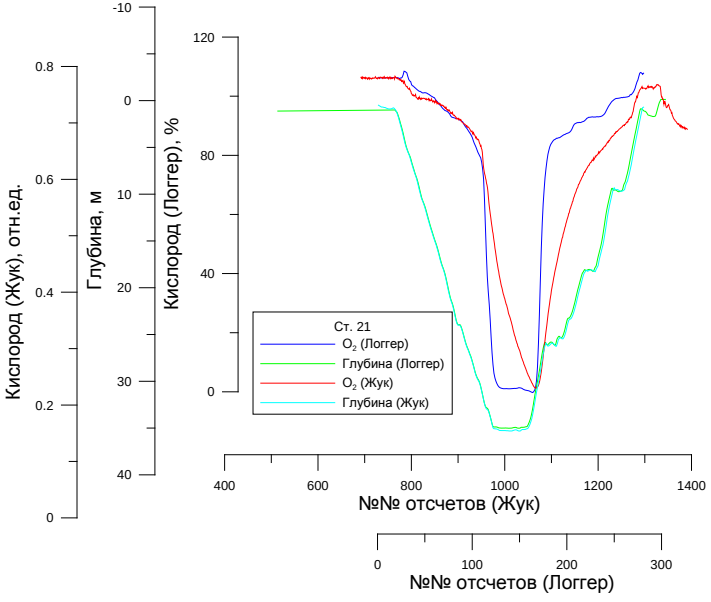


Рис. 2. Сравнение показаний датчиков O_2 Логгер и Жук (частота опроса 2 и 4 Гц, соответственно) при спуске их на ст. 21 (см. текст)

На рис. 3 показаны профили основных параметров на ст. 21. Эта станция была глубже, чем ст. 20 (рис. 1), и распределение параметров в ней глубже порога депрессии имело тонкую структуру. На рис. 3 слева показаны распределение температуры и солености, с коррекцией на

инерционность датчика *T* по формулам (1) и (2), как было сказано выше. Распределение *T* показывает наличие придонного более холодного слоя, можно ожидать, что он является более изолированным от обмена с вышележащими водами. В распределении солености после коррекции пропали «клювы», аналогичные таким на ст. 20 (рис. 1), и оно так же, как и *T* показывает наличие 2-х слоев, но видно, что профиль S после коррекции все-таки сохраняет некоторые недостатки (экстремумы) вследствие, видимо, недостаточно точной коррекции.

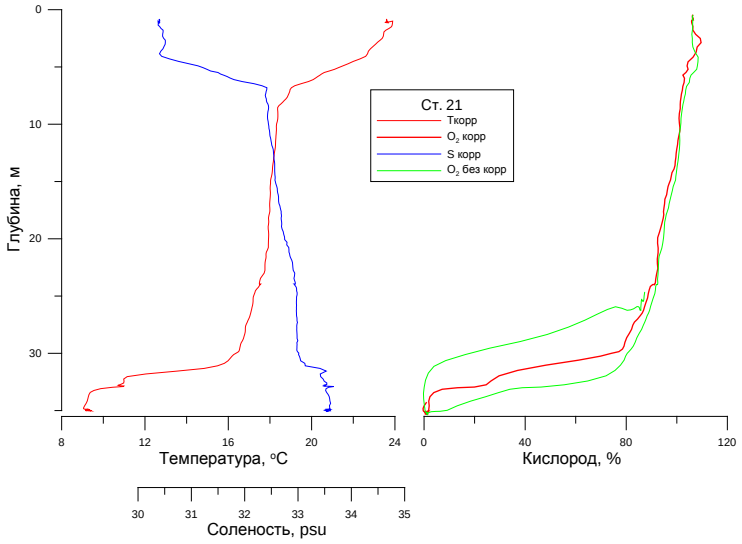


Рис. 3. Коррекция на ст. 21 *T*, *S* и O_2 (результат до и после коррекции)

Наибольший интерес представляет распределение кислорода (рис. 3 справа). Первоначальное распределение O_2 (на рис. 3 показано зеленым) было очень грубым, не согласующимся с распределением *T*, а также показывало очень большой гистерезис при спуске и подъеме. Эти недостатки постепенно уменьшаются при простом сдвиге показаний датчика O_2 вперед во времени на 1–4 кадра. При частоте опроса датчиков Логгера 2 Гц, это опережение показаний примерно на 2 сек. Сдвиг на 5 кадров уже имеет признаки перекомпенсации. Поэтому дальнейшая коррекция делалась аналогично (2): $O_{2корр}=O_4+O_5-O_3$, где O_4 – это показания, сдвинутые на 4 кадра, и т.д. Результат показан на рис. 3 красной линией. Видно, что такой профиль показывает, что придонный слой

является по O_2 столь же однородным, как по T и S, и наиболее бедным (аноксия). Это является косвенным подтверждением правильности примененного способа коррекции.

В [2] предлагаются два метода динамической коррекции зондовых измерений: либо понижение частотных характеристик «быстрых» первичных преобразователей (в данном случае, электропроводности). Это сглаживает профиль *S*, что не очень годится для измерений у дна. Либо метод экспоненциального обострения данных медленного преобразователя (T, O_2). В этом случае сильно возрастают шумы измерений. Используемый нами метод коррекции: сдвиг и опережение (с учетом разности данных после и до текущего значения), достигает тех же результатов, практически не увеличивая шумы измерений.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ 15-05-03796-а.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Стунжас П. А., Мошаров В. Е., Радченко В. Н.** Возможности фотолюминесцентного метода измерений концентрации кислорода в редокс зоне Черного моря в сравнении с другими методами // Океанология. 2013. Т. 53. №4. С.558–568.

2. **Архипкин В. С. и др.** Учебное пособие Океанология. М.: Макспресс, 2009. 335 с.

УДК 550.34

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАПИСЕЙ СЛАБЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

Крылов А. А., Иващенко А. И., Ковачев С. А., Лобковский Л. И.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(909)9782679,
krylov_deliver@mail.ru

The paper deals with an approach to the problem of simulating strong ground motions using smaller event's record as empirical Green's function. This method allows modeling the most probable target event considering real path propagation and site effects.

При проектировании ответственных объектов в сейсмоопасных районах, в том числе и на морском шельфе, требуется проводить оценку сейсмической опасности района строительства. Обязательной составляющей этих работ является сейсмомикрорайонирование (СМР), которое позволяет учесть влияние местных грунтовых условий на сейсмичность исследуемого участка. Согласно действующим нормам, рекомендуется комбинировать теоретические и инструментальные методики.

Теоретические расчеты проводятся с целью прогноза колебаний на поверхности грунтового слоя под воздействием возможных наиболее сильных землетрясений для данного района. С этой целью производятся расчеты спектральных характеристик и синтетических акселерограмм для различных моделей изучаемой среды. При этом необходимо достоверное знание инженерно-геологических характеристик в исследуемой точке, которое зачастую недоступно. Также существующие алгоритмы расчета акселерограмм имеют ряд ограничений. Например, широко используемый метод, описанный в работе [1], достоверен для горизонтальной компоненты записи землетрясения узкого диапазона магнитуд, эпицентральных расстояний и характеристик среды распространения волны.

Инструментальные исследования с использованием сети сейсмографов (на шельфе – донных сейсмографов) проводятся в основном для оценки приращения сейсмической интенсивности по отношению к эталонным грунтам и изучения особенности сейсмичности изучаемой территории. Т. к. продолжительность исследований весьма ограничена, то, как правило, регистрируются лишь землетрясения малых магнитуд, в то время как для СМР необходимы акселерограммы, характерные для сильнейших землетрясений данного региона.

Поэтому перед авторами возникла задача получения достоверных акселерограмм для рассматриваемого района при недостатке информации о характеристиках среды распространения (кривых затухания) и грунтовом разрезе, но при этом имея записи слабых землетрясений, полученных в результате работы сети сейсмографов.

Существует известный метод Ирикуры [2] моделирования волновой формы сильных землетрясений по афтершокам. Запись афтершока используется как эмпирическая функция Грина, т.е. отклик среды на единичный импульс. Область очага сильного землетрясения рассматривается как состоящая из определенного количества субочагов, размер которых равен размеру очага афтершока, а его волновая форма как суперпозиция функций Грина с определенным временным лагом, который характеризует распространение разрыва по очагу и смещение по разрыву в каждой точке (рис. 1).

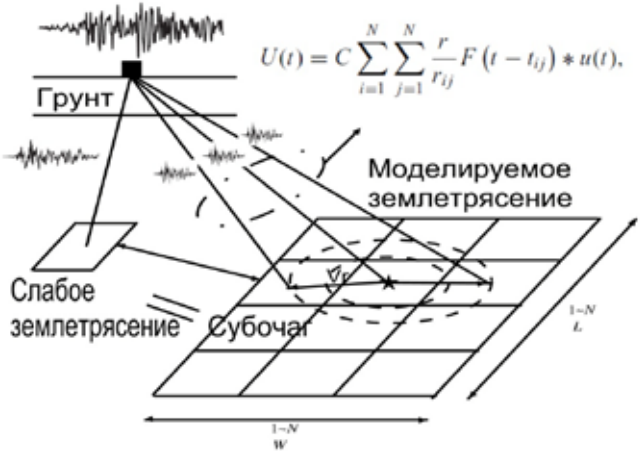


Рис. 1. Схематичное представление техники синтеза волновой формы главного толчка по афтершокам. Подробнее см. работу [2]

Во многих работах метод Ирикуры приводит к хорошим результатам, при этом оговариваются условия: магнитуда афтершока лишь на 1–2 меньше, чем магнитуда главного толчка, хорошо известен механизм очага, причем он должен быть одинаковым для обоих событий.

Для СМР необходима адаптация данного метода под синтез акселерограмм наиболее вероятного сильнейшего землетрясения на исследуемой территории с использованием экспериментально полученных записей слабых землетрясений в исследуемом районе. Были использованы данные сейсмологических и инженерно-геологических исследований на черноморском шельфе вблизи Анапы, проводимых Институтом океанологии в 2011 году.

В результате работы сети донных сейсмографов были получены записи более 70 местных землетрясений. Мы рассчитали акселерограммы от землетрясения с магнитудой M = 5.3 на линеаменте, определяющем основную сейсмическую опасность на исследуемом участке, используя запись слабого землетрясения с магнитудой M = 1.7, локализованного на том же линеаменте.

Решая эту задачу, пришлось обратить внимание на ряд нюансов:

1) Т.к. в данном случае нет априорного знания параметров очага моделируемого землетрясения, а дана только магнитуда и локализация, то они были рассчитаны с помощью формул из различных источников, как функции магнитуды.

2) Магнитуда землетрясения, используемого в качестве функции Грина, намного меньше магнитуды моделируемого события. Поэтому число субочагов получилось достаточно большое. Картина резонансов из-за прохождения сейсмической волны сквозь грунтовый слой разная для землетрясений разных магнитуд. При суммировании большого числа сейсмограмм субочагов, выявляется резонанс, характерный именно для малых магнитуд. Поэтому возникла необходимость сглаживать резонансные частоты в записи слабого землетрясения.

3) Исходная функция Грина может быть использована только для одного эпицентрального расстояния. Чтобы моделировать акселерограммы для произвольных значений расстояния, необходимо было определить функцию затухания для исследуемого района. Эта проблема была решена нелинейным регрессионным анализом спектра функции Грина (т.е. записи слабого землетрясения).

Т.к. для исследуемого района достоверно известен разрез верхних осадков, то представилась возможность сравнить полученные результаты с теоретическими расчетами акселерограмм методом [1] и нелинейным анализом отклика грунтовой толщи NERA (рис. 2).

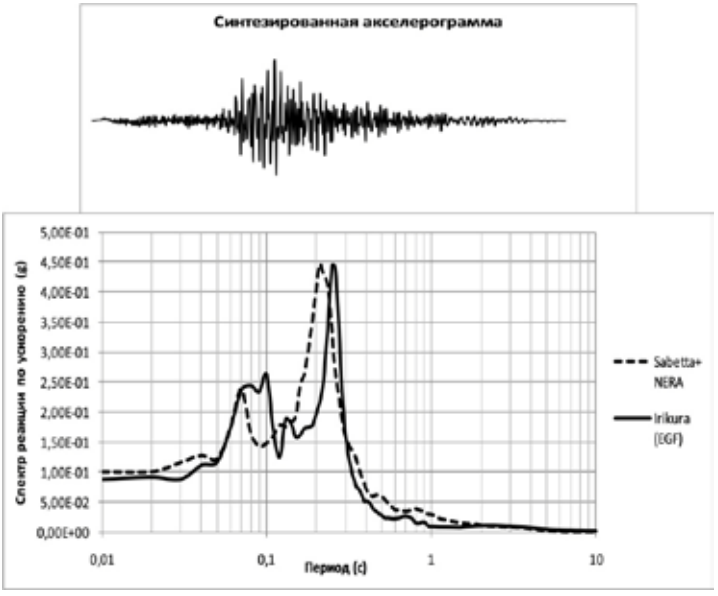


Рис. 2. Синтезированная методом эмпирической функции Грина акселерограмма и сравнение спектров реакции по ускорению

Из рис. 2 можно сделать вывод о хорошем соответствии спектров реакции полученных разными способами акселерограмм. При этом метод синтеза с помощью эмпирической функции Грина имеет существенное преимущество: учитывается вклад в акселерограмму реальных эффектов среды распространения волны и местных грунтовых условий при отсутствии о них какой-либо детальной информации.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Sabetta, F. and Pugliese, A.** Estimation of Response Spectra and Simulation of Nonstationary Earthquake Ground Motions // Bull. Seismol. Soc. Am. 86, 1996. pp. 337–352.

2. **Irikura K., Kamae K.** Estimation of strong ground motion in broad-frequency band based on a seismic source scaling model and empirical Green's function technique // Annali Di Geofisica, vol. 37, №6, 1994, pp.1721–1743.

УДК 629.56.2

ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ОТ РАЗРУШАЮЩИХСЯ ВОЛН В СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЕ

Иванова О.А.[1], Кушнир В.М.[2]

[1] Севастопольский государственный университет, Институт кораблестроения и морского транстпорта
Университетская. 33, 299053, г.Севастополь, 8(692)54-42-32, mamy19782905@rambler.ru
[2] Морской Гидрофизический Институт, ул. Капитанская, 2, 299011, г. Севастополь, 8(692)54-52-41, kushnir41@inbox.ru

The estimation of dynamic loads on the coast of Sevastopol Bay fracture surface storm waves. Such estimates are necessary to prevent damage in the coastal zone of Sevastopol during heavy storms.

Обоснование и разработка методов оценки динамических (ударных) нагрузок при разрушении поверхностных волн на береговой линии относится к числу актуальных проблем, связанных со многими вопросами морских технологий (предотвращение разрушения берегов и пляжей,

набережных, прибрежных сооружений), а также экологии прибрежной зоны. В настоящее время эта проблема изучена недостаточно, что подтверждается многочисленными фактами катастрофического воздействия штормовых волн на прибрежные зоны. Для расчетов экстремальных ударных нагрузок от штормовых волн используются, прежде всего, оценки экстремальных скоростей ветра и параметров штормовых волн, формирующихся под действием этого ветра. Для этой цели применяются различные методики и справочные данные о ветровом режиме. Расчеты экстремальных скоростей ветра, его продолжительности и направленности выполняются на основе анализа спектральных характеристик составляющих скорости ветра [1]. Оперативные прогнозы скорости ветра с пространственным разрешением порядка 10 км получают на основе использования современных моделей атмосферы типа ММ-5, SCERON и других.

Численные расчеты параметров поверхностных волн выполняются с использованием модели SWAN, (Simulating Waves Near Shore), [2]. Результаты расчетов по этой модели дают величины высот волн 3% обеспеченности, их периоды, длины и направление распространения в географической системе координат [3]. На рис. 1 показано разрушение этих волн в Севастопольской бухте с формированием динамических нагрузок, серьезно повредивших набережную и небольшие прибрежные строения.

Рис. 1. Штормовые волны в Севастопольской бухте, разрушившие набережную и прибрежные строения

Анализ параметров указанных штормовых волн при входе в Севастопольскую бухту показал, что их высота уменьшилась от 7...8 м в открытом море до 3…4 м вследствие уменьшения глубины на рейде Севастополя.

Динамическая сила при ударе разрушающейся волны определяется различными методами. Первые четыре соотношения представлены в [4].

1. $P_1 = 1,61 H_{cr}^2 \lambda_{cr}^{-1} \times 10^{-4}$, тс/м^2
2. $P_2 = 0,25 \rho g (H_{cr} + \rho H_{cr}^2 \lambda_{cr}^{-1}) \times 10^{-4}$, тс/м^2,
3. $P_3 = 0,09 T_w^2 \times 10^{-4}$, тс/м^2
4. $P_4 = 0,6 H_{cr} \times 10^{-4}$, тс/м^2

где, H_{cr}, λ_{cr}, h_{cr} – критические величины высоты, длины волны и глубины соответственно, которые соответствуют условиям ее разрушения, ρ – плотность воды, g = 9,81 м/с^2, T_w – период волн, с.

Соотношение для оценки динамической нагрузки в зависимости от скорости движения гребня v_h приведено в [5, 6].

5. $P_5 = \rho v_h^2 \times 10^{-4}$, тс/м^2, $v_h = \frac{H_{cr}}{2} \left(\frac{g}{h_{cr}} \right)^{0,5}$.

Как это было указано, расчет параметров штормовых поверхностных волн в Севастопольской бухты выполнен для условий северо-западного штормового ветра со скоростью 30 м/с. Как известно, развитие гидродинамической неустойчивости происходит, если отношение длины волны к ее высоте равно семи [7]. Для определения положения такой зоны было вычислено отношение длины волны к ее высоте (рис. 2), причем указанное условие выделено белой линией.

Разрушение волны происходит при достижении определенных критических условий [5, 6]. Соотношения (1…5) были использованы для расчетов параметров динамических (ударных) нагрузок при разрушении волны вблизи береговой линии вдоль южного берега Севастопольской бухты вблизи мыса на левом берегу Южной бухты.

Расчеты показали, что критическая глубина h_{cr}, где происходит разрушение гребня, его высота H_{cr} и длина волны λ_{cr} равны соответственно: h_{cr} = 4,1 м; H_{cr} = 6,0 м; λ_{cr} = 14,1 м. Скорость движения гребня v_h равна 6,34 м/с. Динамическая нагрузка при ударе волны, вычисленная независимыми методани по соотношениям 1…5, равна: P_1 = 4,12 тс/м^2, P_2 = 3,61 тс/м^2; P_3 = 2,82 тс/м^2; P_4 = 3,61 тс/м^2; P_5 = 4,12 тс/м^2. Среднее

значение динамической нагрузки при разрушении волны составляет $P_{ср} = 3{,}66$ тс/м^2

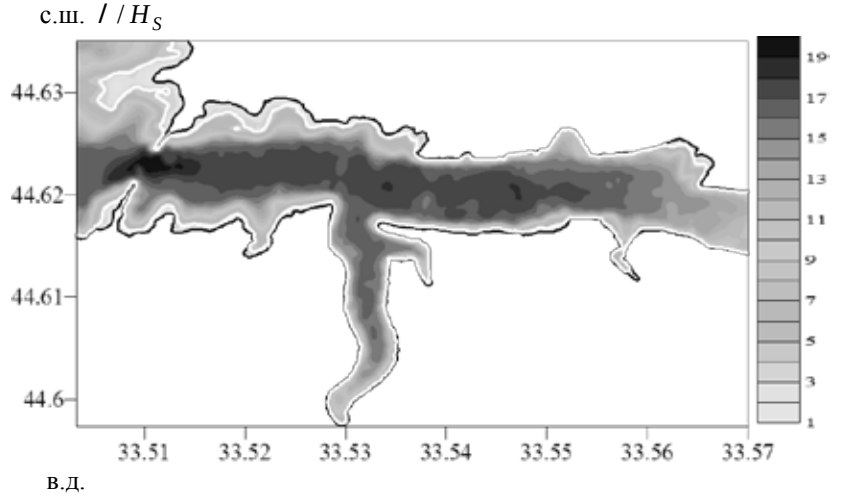


Рис. 2. Отношение $/\ /\ H_S$. в Севастопольской бухте

Таким образом, представленные методы расчета параметров трансформации морских волн вблизи береговой линии позволяют выполнить оценки динамических (ударных) нагрузок пятью различными независимыми методами. Результаты расчетов дают согласованное представление о возможных динамических нагрузках на береговую линию, имеют один порядок величин и, вместе с тем, характеризуются определенной изменчивостью. Поэтому, приведенные результаты следует рассматривать как предварительные и нуждающиеся в проведении дальнейших исследований.

Работа выполнена при финансовой поддерже РФФИ, Проект № 14-41-01556\14 «Фундаментальное исследование задач нелинейной динамики поверхностных волн и их воздействия на океанотехнические установки в прибрежной зоне Азово-Черноморского бассейна

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Кушнир В. М.** Оценки больших скоростей ветра по спектральным характеристикам / В. М. Кушнир, С. В. Федоров // Метеорология и гидрология. – 2001. – №2. – С. 56–65.

2. SWAN. Tech. docum. – Delft Univer. of Technology, Fac. of Civil Eng. and Geoscienc., Environm. Fluid Mechanics Section. – 2006. – 88p.

3. **Кушнир В. М.** Реакция Азово-Черноморского бассейна на интенсивный циклон 10-11 ноября 2007 г. по данным дистанционного зондирования / В. М. Кушнир, С. В. Федоров, Л. А. Петренко // Морск. испыт. – 2008. – №1. – С. 62-81.

4. **Шулейкин В. В.** Физика моря / В. В. Шулейкин. – М.: Изд. АН СССР, 1953. – 989 с.

5. **Кушнир В. М.** Воздействие нелинейных поверхностных волн на морской терминал пирамидальной формы / В. М. Кушнир, В. Р. Душко // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2013. – №9(150). – С. 52–58.

6. **Кушнир В. М.** Воздействие поверхностных гравитационных волн на прибрежные океанотехнические сооружения / В. М. Кушнир, В. Р. Душко, В. А. Крамарь // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – №6/5(66). – С.36–41.

7. **Боуден К.** Физическая океанография прибрежных вод / К. Боуден. – М.: Мир, 1988. – 324 с.

УДК 504/064

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД ПРИ ОЦЕНКЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

Умербаева Р. И.[1], Курапов А. А.[2], Монахов С. К.[3], Непоменко Л. Ф.[1]

[1]Научно-исследовательский институт экологии южных морей, ул. Свердлова, 56, оф. 06, 414000, г. Астрахань, (8512) 49-22-12, ymeko@mail.ru

[2]Каспийский филиал Института Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, ул. Савушкина, 6, корп. 27, оф. 5, 7, 414056, г. Астрахань, (8512) 54-45-59, caspy@bk.ru

[3]Каспийский морской научно-исследовательский центр, ул. Ширяева, д.14, 414045, г. Астрахань, (8512) 30-34-70, kaspmniz@mail.ru

The paper argues for an integrated approach to an assessment of the impacts of oil and gas activities on the marine environment of the Caspian Sea. The complex structure of its ecosystem and multiple dynamic processes in it requires a wide range of indicators to be monitored.

Экологическая обстановка в российском секторе недропользования Каспийского моря зависит от сочетания природных и антропогенных факторов, воздействующих на морскую среду, а также от чувствительности, устойчивости и уязвимости морских экосистем к этому воздействию.

Из внешних природных факторов на экологическую обстановку в основном влияют изменения климата, определяющие динамику теплового и водного баланса моря, а также интенсивность водообмена между Северным и Средним Каспием. Из числа термических факторов экологическое значение имеет суровость зим. Увлажненностью бассейна Волги определяется объем годового стока реки – главного фактора, влияющего на функционирование экосистемы Северного Каспия.

Противофазный характер колебаний биологической продуктивности в Северном и Среднем Каспии определяется водообменном между этими частями моря. При уменьшении водообмена биопродуктивность Северного Каспия повышается, а Среднего Каспия – снижается. При увеличении водообмена наблюдается обратная картина.

Рыбный промысел, производственная деятельность нефтегазовых компаний, зарегулирование речного стока, биологическое и химическое загрязнение морской среды являются основными факторами антропогенного воздействия на рассматриваемую акваторию. В снижение запасов ценных видов рыб немалую лепту внес браконьерский лов. Зарегулирование стока особенно сильно отразилось на состоянии пресноводного и солоноватоводного комплексов организмов. На большинстве трофических уровней экосистемы моря доминирующую роль приобрели виды-вселенцы, а вселение ризосолении, митилястера, балянуса и мнемиописиса повлекло за собой кардинальные изменения экосистемы моря.

Основным источником загрязнения морской среды для рассматриваемой акватории является речной сток.

Экологическое состояние акватории в какой-либо момент времени определяется сложным сочетанием природных и антропогенных факторов. Например, зарегулирование стока усилило зависимость жизнедеятельности пресноводного и солоноватоводного комплексов от изменений климата. Уровень загрязнения морской среды Северного Каспия так же, как и уровень его биологической продуктивности, зависит не только от поступления веществ с речным стоком, но и от водообмена между Северным и Средним Каспием. Важным фактором, влияющим и на биологическую продуктивность вод и на состояние их загрязнения, является обмен взвешенными частицами между водой и донными отложениями, который в свою очередь зависит от стока наносов и штормовой активности.

Сложность структурно-функциональной организации биологических сообществ на рассматриваемой акватории, обусловленная наличием в ее пределах двух разнокачественных экосистем (северо- и среднекаспийской), а также высокая динамичность природно-хозяйственной обстановки требуют проведения разносторонних и регулярных исследований для прогноза будущих изменений, обусловленных повышением антропогенной нагрузки.

Из краткого обзора природных условий и экологической обстановки следует, что в настоящее время реальную угрозу экологической безопасности российского сектора недропользования Каспийского моря представляют нерациональный рыбный промысел и виды-вселенцы, в совокупности наносящие ощутимый урон рыбным запасам.

Основной потенциальной угрозой являются аварийные разливы нефти, вероятность возникновения которых будет возрастать по мере освоения новых месторождений. Следовательно, загрязнение морской среды, влияние которой на экологическую обстановку сегодня оценивается как второстепенное, в любой момент может стать ведущим фактором антропогенного воздействия на морские экосистемы.

Основной поток загрязняющих веществ в российском секторе направлен от дельты Волги на Дербентскую котловину. Это обусловлено тем, что преобладающей формой миграции загрязнителей является взвесь. Поток загрязняющих веществ с одной стороны проходит через природные фильтры, а с другой стороны подпитывается из посторонних источников. Учитывая особенности циркуляции вод в Северном и Среднем Каспии, можно предполагать, что этими источниками являются потоки загрязнителей из казахстанского сектора недропользования.

В этих условиях выявление источников поступления, отслеживание путей и оценка интенсивности переноса загрязняющих веществ в российском секторе недропользования Каспийского моря следует рассматривать как важнейшие превентивные меры, направленные на обеспечение экологической безопасности Каспийского моря.

В качестве иллюстрации комплексного подхода к исследованию состояния морской среды можно привести фоновый экологический мониторинг, сопровождающий деятельность ООО «Каспийская нефтяная компания» на лицензионном участке «Северо-Каспийская площадь». Расположение и конфигурация лицензионного участка таковы, что он занимает наиболее динамичную зону предустьевого взморья, где происходит встреча волжского стока, поступающего через рукава и каналы дельты, с водами Северного Каспия. Влияние реки и моря (вклад в химический состав и уровень загрязненности вод) изменяется, в зависимо-

сти от гидрологических фаз р. Волги, общей водности речного стока, преобладания форм атмосферной циркуляции, определяющих протекание синоптических процессов, от которых, в свою очередь, зависит динамика морских вод.

Северный Каспий отличается большой годовой амплитудой температуры воздуха, значительными колебаниями температуры воды, широким диапазоном гидрологических параметров – волнения, течений, колебаний уровня моря. Исследование гидрометеорологических условий с использованием современной приборной базы, гидродинамическое моделирование процессов входит в комплекс работ по фоновому экологическому мониторингу и позволяет накапливать достоверную и актуальную гидрометеорологическую информацию, которая служит не только нуждам нефтяников, но и передается в органы Росгидромета.

Климатические условия в северной части Каспийского моря таковы, здесь ежегодно устанавливается ледяной покров. Ледовитость моря очень изменчива, диапазон дат ледового периода достаточно широк, в зависимости от характера предзимья, суровости зимы и весны. Тем не менее, вся акватория Северного Каспия и даже пограничные с ним районы Среднего Каспия находятся в зоне потенциальных рисков воздействия льда на морские сооружения. Эти риски тем больше, чем севернее расположены объекты, а акватория в диапазоне глубин до 5–7 м ежегодно попадает в зону дрейфующих льдов или припая даже в мягкие зимы.

Таким образом, с началом разведки и освоения запасов углеводородного сырья на Северном Каспии информация о ледовых условиях стала актуальной в аспекте строительства морских гидротехнических сооружений – постановки платформ для разведочного и поисково-оценочного бурения (строительства скважин), обустройства месторождений и прокладки трубопроводов.

Ледоисследовательские работы, проводимые нефтяной компанией с 2001 года, в рамках фонового мониторинга, стали важнейшей составной частью изучения гидрометеорологического режима Северного Каспия.

Гидрохимические и геохимические исследования, исследования состояния биоты Северного Каспия на всех уровнях – микробиологии, гидробиологии, ихтиологии, токсикологии, орнитологии и териологии, выполняемые в рамках фонового мониторинга, в сочетании с производственным контролем при бурении разведочных скважин дают полную картину состояния морской среды, многолетнюю динамику показателей этого состояния и позволяют оценивать воздействие интенсивно развивающегося нефтегазового комплекса на экосистему Северного Каспия.

УДК 550.34.01

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СРЕДЫ

Либина Н. В.[1], Черников А. Г.[2]

[1]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр-т 36, г. Москва, 117997, 8(499)124-85-47
[2]ООО «Газпром ВНИИ ГАЗ», Пос. Развилка, Московская обл., 142717
e-mail: lnatvit@mail.ru, A_Chernikov@vniigaz.gazprom.ru

Calculation of the spatial and temporal variability of sea surface temperature is made using 3D modeling. Date of receipt of satellite images replaced depth coordinate. To construct a 3D model algorithm is used N-dimensional Markov modeling.

Для пространственного анализа массива, соответствующим образом полученных данных, например, *CTD*-зондирований, целесообразно вычислять объемное распределение исследуемого параметра в координатах *X, Y, H*. Где *X* и *Y* – координаты поверхности, а *H* – глубина. В тоже время, если взять серию данных полученных в разное время для одного и того же участка (например, последовательность спутниковых измерений какого-либо параметра) можно построить пространственно-временную 3D модель. Вместо координат *H* задается дата (время) получения космоснимка, и вся серия спутниковых данных собирается в единый массив. Далее строится 3D модель в координатах *X, Y, t* (дата).

В качестве метода построения 3D модели применена программа, использующая алгоритм *N*-мерного марковского моделирования [1, 2, 3]. В основу разработанного алгоритма Марковского *N*-мерного моделирования положен подход, предполагающий удержание в моделируемом пространстве вероятностного образа свойств объекта. Система моделирования использует нечеткие каналы наблюдения с ветвящимися графами марковских состояний. Визуализация моделируемого 3D объекта осуществляется по выбранным исследователем плоскостям сечений. Задаются граничные точки координат и шаг дискретизации. На выходе модели получается вероятностная оценка распределения исследуемого параметра модели на плоскости сечения массива (3D модель) или последовательность сечений в выбранном временном интервале. Визуали-

зация модели осуществляется в виде набора разрезов параметров моделируемого объекта.

Марковское N-мерное моделирование позволяет по имеющимся данным для построения 3D моделей при расчетах экономить вычислительные и временные ресурсы. При этом в отличие от интерполяционных систем построения, учитываются контрастные неоднородности исследуемого района. Возможно построение единой (например, акустической) модели водной толщи и подстилающих донных пород.

Построение трехмерной пространственно-временной модели было опробовано на данных измерений температуры поверхности Каспийского моря, полученных с искусственного спутника Земли (ИСЗ) AQUA в период с 19.07.2008 по 26.07.2008 г. (рис. 1).

Для расчетов трехмерной модели пространственно- временной изменчивости параметра t (температура поверхности моря) был выбран фрагмент в пределах $48–50^0$ в.д. (X) – $42–44^0$ с.ш. (Y) (на рис. 1 выделен прямоугольной рамкой). В правой части рис. 1 приведена цветовая шкала температуры. Светлые области – отсутствия данных из-за экранирования поверхности облачностью. 20, 22 и 24 июля данных не было.

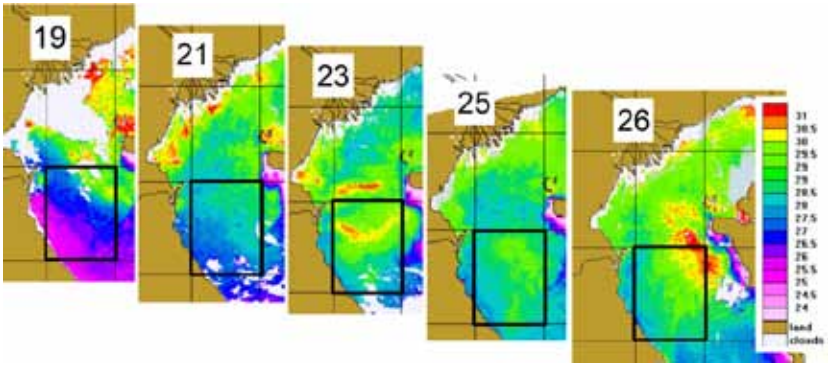


Рис. 1. Температура поверхности моря по данным ИСЗ AQUA 19, 21, 23, 25 и 26 июля 2008 г.

Таким образом, расчеты временной изменчивости температуры поверхности моря проведены в координатах X – долгота, Y – широта, t (время) – дата получения данных ИСЗ. Результаты расчетов приведены на рис. 2. В нижней части рисунка приведены схемы представления данных модели.

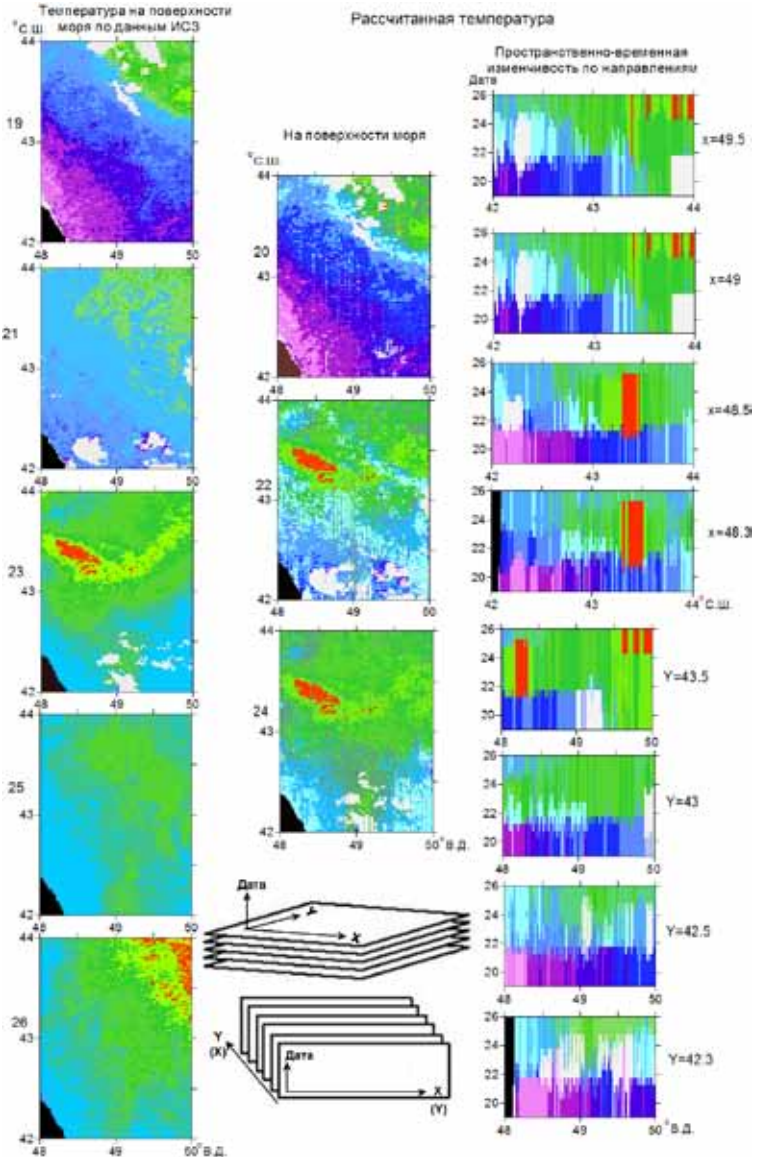


Рис. 2. Пространственно-временная изменчивость температуры поверхности моря

В левой части рис. 2. приведены фрагменты снимков ИСЗ (температура поверхности моря) – исходные данные. В средней части рисунка представлены полученные по расчетной 3D модели параметры температуры поверхности моря в промежуточные дни (20, 22, 24 июля) между исходными данными. В правой – некоторые разрезы пространственно-временной изменчивости по направлениям *Y* при фиксированных *X* (верхние) и по *X* при фиксированных *Y* (нижние). Полученные результаты позволяют анализировать динамику и направление изменения температуры в различные дни.

Аналогично можно провести расчеты для различных параметров, получаемых с ИСЗ.

Л И Т Е РА ТУ Р А

1. **Черников А. Г., Либина Н. В.** Новый алгоритм 3D-моделирования геологического строения подповерхностных отложений морских акваторий. Материалы XIII международной научно-технической конференции МСОИ-2013. Часть I. С. 272–276.

2. **Черников А. Г., Либина Н. В.** Новый способ дистанционного прогнозирования и 3D моделирования геологических и гидрологических структур морских акваторий на основе нелинейной марковской статистики. Материалы II международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование» Москва, 28–30 октября 2013 г. С. 123–126.

3. **Либина Н. В., Черников А. Г.** Опыт и перспективы использования нелинейной марковской статистики при решении океанологических задач. Труды XII всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». С.-П., 2014. С. 474–477.

УДК 537.867+523.034.43000.00

НИЗКОЧАСТОТНАЯ АНТЕННА ДЛЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Лежнин В. А., Комар С. А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)129-27-45, valejnin@mail.ru

The construction of low-frequency antennas for parametric so-

nar equipment are considered. This antenna can be used both in the receive channel of the parametric sonars and in the receiver and transmitter channel of the traditional sonar devices.

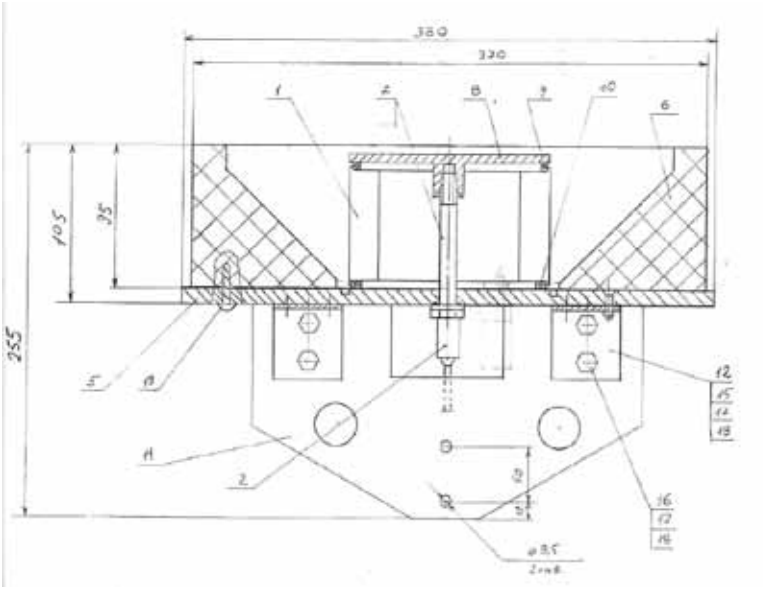
В докладе сообщается о разработке широкополосной низкочастотной гидроакустической антенны, которая может быть использована как в проемно – передающих трактах традиционных акустических профилографов, так и в приемных трактах параметрических гидроакустических средств (ГС).

Подобные гидроакустические антенны хорошо себя зарекомендовали в многочисленных разработках ГС в лаборатории гидролокации дна ИО РАН [1,2]. Как правило, они использовались в качестве приемопередающих антенн в акустических профилографах. Данный тип антенн отличается низкой добротностью и сравнительно высокой направленностью на низких частотах, что обеспечивает возможность профилирования стратифицированных осадков при небольших уклонах дна с разрешением до десятых долей милисекунд. Это так называемые рупорные антенны.

Как показано на рис. 1, в основе конструкции таких антенн лежит использование кольцевых преобразователей, отличающихся низкой добротностью и высоким КПД. Характеристика направленности антенны формируется пенопластовым экраном. В качестве излучающей используется внешняя поверхность кольцевого преобразователя, в то время как его внутренняя поверхность заглушена металлической пластиной, снабженной уплотняющими кольцами. Пластина и крепежная плита стягиваются внутренним болтом, под головкой которого для герметизации находится резиновое кольцо.

Особенности конструкции сводят к минимуму уровень тыльного излучения антенны, а диаметр пенопластового экрана определяет ширину характеристики направленности антенны, которая составляет около 60º. Такая ширина ХН оказывается излишне большой для профилирования осадков в районах с пересеченным рельефом и при поиске малоразмерных объектов, покрытых донными осадками.

Выход из данной ситуации может заключаться в использовании в качестве источника низкочастотного акустических сигналов параметрических антенн [3], в которых вследствие нелинейного взаимодействия высокочастотных сигналов накачки на низких частотах формируется виртуальная антенна бегущей волны, характеристики направленности которой практически соответсвует характеристике направленности параметрическокой антенны на высокой частоте.



1 – кольцевой пьезоэлектрический преобразователь; 2 – герморазъем; 5 – основная крепежная плита; 6 – экран пенопластовый; 7 – болт для стяжки; 8 –металлическая пластина; 9,10 – уплотняющие кольца; 11,12 – элементы крепления

Рис. 1. Устройство низкочастотной антенны

В принципе, для приема сигналов разностной частоты в параметрических ГС могут быть использованы приемные параметрические антенны [3]. Однако на практике для этой цели обычно используют традиционные приемные антенные решетки из гидрофонов [4, 5]. К их достоинствам относятся малые габариты и широкополосность, а к недостаткам – недостаточная чувствительность и наличие заднего лепестка в ХН.

В связи с этим представляет интерес использование антенн рассмотренной конструкции в приемных трактах параметрических аналогов традиционных ГС. В этом случае ширина ее ХН определяет диапазон углов, в которых формируются ХН параметрических аналогов ГС, а реальная форма результирующей ХН в режиме излучения-приема практически будет совпадать с ХН параметрической антенны.

Следовательно, при использовании данной антенны в качестве приемной антенны в параметрических аналогах ГС их результирующая ХН будет практически совпадать с ХН параметрической излучающей ан-

тенны. Очевидно, что при таком подходе реализуется только одноканальный режим работы, который оказывается вполне приемлемым для реализации параметрических акустических профилографов, профайлеров, гидролокаторов бокового обзора и ряда других разновидностей параметрических ГС.

Настоящая работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные основы технологий двойного назначения в интересах национальной безопасности» (Проект 46П «Исследование и разработка параметрических гидроакустических средств и технологии их использования для поиска, идентификации и мониторинга объектов в водной среде, на поверхности дна и в толще неуплотненных осадков»).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Римский-Корсаков, Н. А.** Акустический профилограф с использованием ЧМ-сигналов и дисперсионных ультразвуковых линий задержки / Н. А. Римский-Корсаков, В. А. Сычев, Д. П. Фролов // Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики. – СПб: Наука, 2006. С. 151–153.

2. Справочник технических средств изучения параметров природной среды Мирового океана / С. П. Алексеев, И. М. Ашик, Т. В. Воронова, Н. А. Римский-Корсаков – Изд. ГНИНГИ МО РФ. СПб, 2009. 183 с.

3. **Кузнецов В. П.** Нелинейная акустика в океанологии. В. П. Кузнецов. – М.: Физматлит, 2010. 264 с.

4. **Шишкова, Е. В.** Физические основы промысловой гидроакустики / Е.В. Шишкова/ – М.: Пищевая промышленность, 1977. 248 с.

5. **Бреховских, Л. М.** Теоретические основы акустики океана / Л. М. Бреховских, Ю. П. Лысанов. – М.: Гидрометеоиздат, 1982. – 262 с.

УДК 551.46.07

МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ СБОРА, ОБРАБОТКИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ МОРФОЛИТОДИНАМИКИ РУСЕЛ РЕК И МОРСКИХ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ

Белевитнев Я. И., Пронин А. А., Сурин М. Н.

Учреждение Российской академии наук, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Нахимовский пр-т, д. 36, Москва, Россия, +7(499)124 85 09, pronin@ocean.ru

Describes the changes in the processing and presentation sonar data in conducting research morfolithodynamics processing on river and coastal.

С начала девяностых годов по настоящее время сотрудниками Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н. И. Маккавеева Географического факультета МГУ и Лаборатории гидролокации дна Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, под руководством В. И. Коротаева и Н. А. Римского-Корсакова, проводятся работы по изучению морфолитодинамики русел рек и эстуарно-дельтовых зон. Технология этих исследований была основана на применении комплекта гидроакустической аппаратуры разработанной и изготовленной в ИО РАН. Кроме гидроакустической аппаратуры ИО РАН – гидролокатора бокового обзора (ГБО) и акустического профилографа (АП), в состав комплекса входили приемник космической навигационной системы GPS, цифровой эхолот LMS–350, устройство для отбора проб донных отложений (ДО). С учетом применяемых средств была разработана методика сбора и обработки данных [1, 2], которая в последующем оптимизировалась и дополнялась [3–5], с учетом появления новой аппаратуры, входящей в состав комплекса. Данные, получаемые от составляющих этого комплекса – гидролокатора бокового обзора (ГБО) и акустического профилографа (АП), с помощью интерфейсного модуля «РАСТР» и специализированного ПО «RASTR-Ehograf», собирались в определенном формате для дальнейшей постобработки в программе «Winrastr». К сожалению, данное ПО, при его несомненных достоинствах, не поддерживает никаких форматов файлов, кроме собственного. Поэтому, при включении в состав комплекса аппаратурных

средств и ПО зарубежных производителей возникла необходимость в модернизации методики сбора и обработки данных.

Дополнительным, но существенным требованием, при модернизации методики была необходимость представления полученных данных в виде, удобном для пользователей географических специальностей – геоморфологов, специалистов по русловым процессам и т.д. Также важным требованием являлась доступность программного обеспечения, применяемая конечным пользователем для работы с полученными материалами.

В результате было принято решение собирать данные, полученные от различных источников в среде известной программы Google Earth. Интегрировать данные в эту программу можно в виде изображений. Для картографических материалов требуется создание так называемых .klm – файлов. Данные, которые относятся к конкретной точке (колонки бурения, фотографии характерных мест береговой линии и т. п.), можно представить в виде «картинок», открывающихся по клику на соответствующий условный значок.

Процесс работы, по обновленной методике, выглядит следующим образом: на подготовительном этапе доступные материалы по району работ (лоцманские и навигационные карты, данные бурения с координатной привязкой и т. п.) собираются в специально созданные папки, объединенные в рамках «проекта». Далее эти данные интегрируют в Google Earth. Затем планируют маршруты движения и делят район работ на отдельные участки, съёмку которых можно выполнить в течение одного судового дня. Как правило, работы разделяют по видам – гидролокационную съёмку совмещают с маршрутным промером, а акустическое профилирование с отбором проб ДО. Фото и видеосъёмку проводят параллельно основным видам работ. Часто, целесообразно проходить какой-либо участок в прямом и обратном направлении со сменой видов работ. Непосредственно после проведения съёмки необходимо провести архивацию данных с сопутствующим контролем их качества и полноты, чтобы можно было оперативно восполнить пробелы. Далее обработка данных идет по нескольким направлениям:

· по данным маршрутного промера строится продольный профиль русла, с привязкой к километражу лоцманских карт;

· данные гидролокатора бокового обзора обрабатываются таким образом, чтобы можно было получить .klm – файлы;

· данные акустического профилирования обрабатываются с помощью программы Винрастр, при этом строятся профили отражающих слоев;

· проводится анализ проб ДО на гранулометрический состав и составляется таблица.

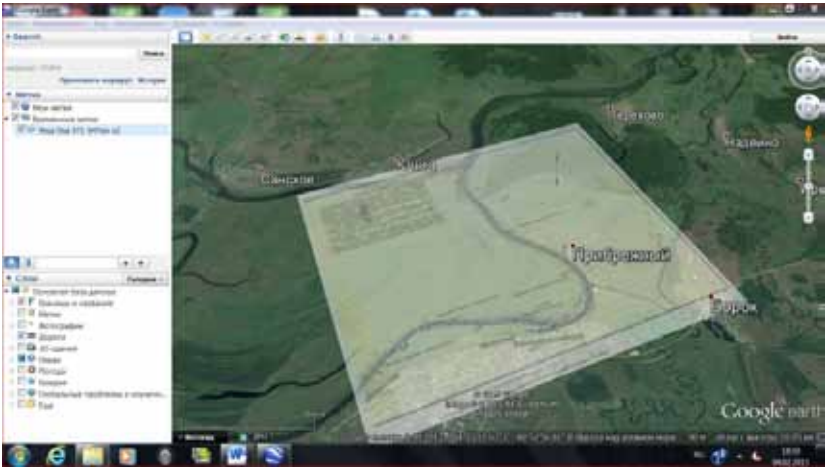


Рис. 1. Пример наложения листа лоцманской карты

Для случая гидролокационной съёмки существуют специальные программы, которые позволяют получить klm – файлы из файлов первичных данных (например, из формата .xtf), их стоимость весьма высока и они не всем доступны. Можно создать klm – файлы из так называемых «мозаик», масштабированных гидролокационных изображений, привязанных к координатам, сохраненных в стандартных графических форматах типа .bmp, .tiff и т.п. Этот путь подходит для данных собранных с помощью программы «Ehograf».

При открытии одного из полученных .klm – файлов из папки проекта запускается Google Earth. Удобно, в качестве основы, использовать файлы листов лоцманской карты. Далее на неё можно подгрузить гидролокационное изображение дна русла, выложенное в соответствии с траекторией движения носителя. При необходимости можно открыть следующие участки, которые стыкуются с предыдущими. Затем добавляются точки отбора проб, в виде иконок, при клике на которые, становятся доступными данные о составе осадков в этой точке. Через отдельные иконки доступны фрагменты профилей эхолотного и акустического зондирования (удобно, если их размер соответствуют листу карты), фотографии характерных (или аномальных) участков берега. Все эти данные сохраняются в папке проекта. Так же, в проекте в отдельных папках сохраняют первичные данные ГБО, АП, эхолотного промера, результаты первичной обработки данных (профили, таблицы). Полезно, помес-

тить рядом, одну из свободно распространяемых программ для просмотра гидролокационных изображений (как правило, они невелики по объему). Скомпонованный проект передается специалистам для дальнейшей работы.

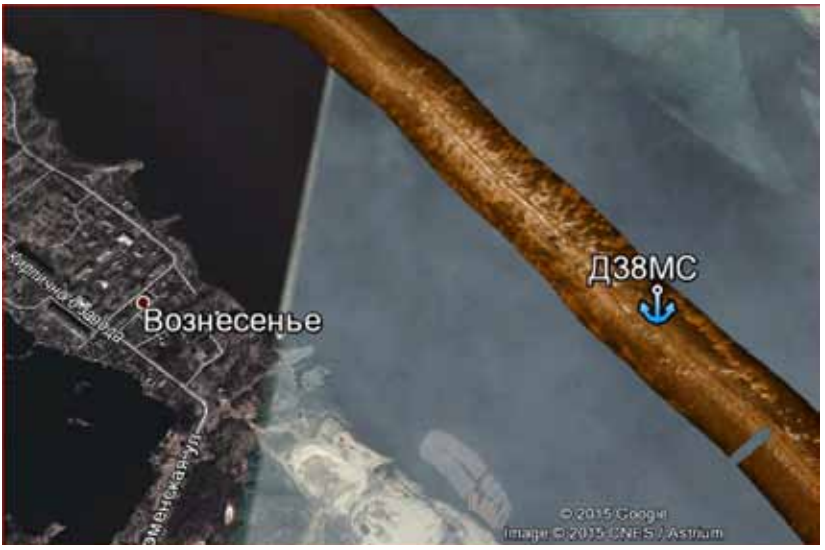


Рис. 2. Пример участка русла с гидролокационным изображением дна и точкой отбора проб донных отложений

Такая форма, представления данных экспедиционных исследований обладает рядом положительных свойств, а именно:

- доступность и постоянное обновление программы хранения данных;
- присутствует географическая привязка, с конкретными реалиями данного места;
- есть возможность масштабирования;
- есть возможность «подтягивать» дополнительные информационные ресурсы, в том числе отсканированные карты и другие картографические документы, добавлять другую информацию, необходимую конкретному пользователю;
- не нужную, в данный момент, информацию можно убрать, путем регулировки яркости слоя или отключив видимость данного файла;
- при необходимости можно просмотреть исходные данные.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Римский-Корсаков Н. А., Пронин А. А.** О методологии исследования дна акваторий и водных объектов гидролокационными методами. ВИНИТИ, 22.12.2010.№718 – В2010.

2. **Римский-Корсаков Н. А., Пронин А. А., Иванов В. В.** Использование гидролокатора бокового обзора (ГБО) при проведении исследований на водных объектах. В сб. «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. Москва, 2009. 6 с.

3. **Римский-Корсаков Н. А., Пронин А. А.** Идентификация подводных объектов обнаруженных в ходе исследования дна водоемов гидролокационными методами. / В сб. материалов конференции «Современные методы и средства океанологических исследований». Москва: Изд. ИО РАН, 2011. Т.2. С. 72–76.

4. **Римский-Корсаков Н. А., Пронин А. А.** Использование гидроакустического программно-аппаратного комплекса для исследования подводных русловых форм. / В сб. «Труды III Всероссийской конференции «Ледовые и термические процессы на водных объектах России», 2011. С. 333–336.

5. **Римский-Корсаков Н. А., Пронин А. А., Белевитнев Я. И., Коротаев В. Н., Иванов В. В.** Синхронная гидролокационная и видео съёмка при геоморфологическом картировании дна водных объектов. / В сб. Современные методы и средства океанологических исследований. Москва, 2013. Т.1. С. 217–220.

УДК 504.424.064:623.459

МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ ЛЕНДЕР ДЛЯ ВЗЯТИЯ ПРОБ ВОДЫ НА ГРАНИЦЕ ВОДА-ДНО НА МАЛЫХ ГЛУБИНАХ

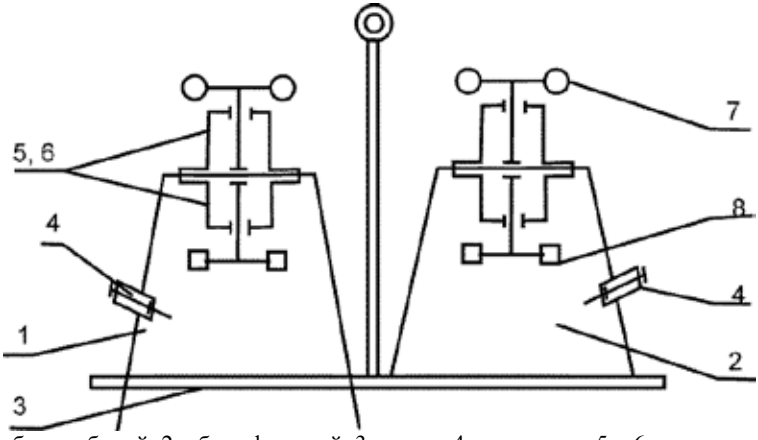
Лежнин В. А., Розанов А. Г., Гагарин В. И.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8 (499) 129-27-45
valejnin@mail.ru

The article presents modernization method for sampling water from boxes of lender. Besides, talking about more refined stirring instruments.

В данной работе предлагается модернизация забора воды из боксов лендера и усовершенствование его узла перемешивания.

Один из первых отечественных лендеров для взятия проб воды на границе вода-дно был спроектирован и изготовлен в ИО РАН в 80-х годах прошлого столетия [1]. На рис. 1 видно, что лендер представлял собой два пластмассовых бокса: рабочего и фонового, которые устанавливались на одной раме.

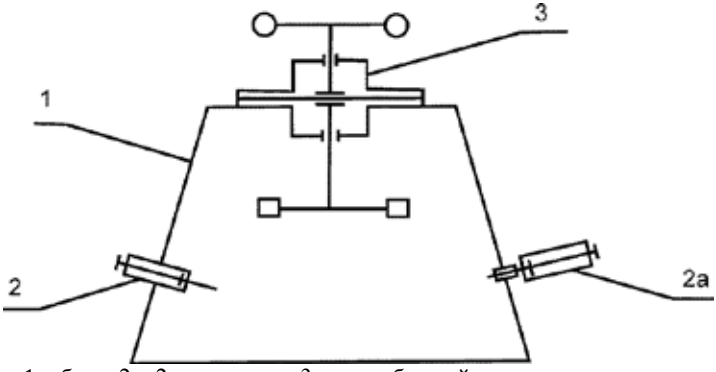


1 – бокс рабочий; 2 – бокс фоновый: 3 – рама; 4 – заглушка; 5 и 6 – магнитные полумуфты; 7 – полусферические лопасти; 8 – плоские лопасти

Рис. 1.

Пробы воды брались следующим способом: водолаз вынимал из бокса заглушку и вставлял на ее место кончик шприца; затем брал пробу воды этим шприцем, вынимал его и ставил заглушку на место. Для создания условий, близких к естественным, на верхней части бокса стоял узел перемешивания, который состоял из двух магнитных полумуфт с полусферическими лопастями на верхней полумуфте, и плоскими лопастями на нижней.

Для модернизации забора воды из боксов лендера предлагается вместо заглушек вставлять уже готовые для взятия проб пустые шприцы, как показано на рис. 2. Таким образом, водолаз втягивает воду штоком в шприц, т. е. берет пробу, вытаскивает шприц из бокса и, затем, вставляет в бокс вместо заглушки новый пустой шприц. Исключение из процесса заглушки делает время соприкосновения внутреннего объема воды бокса с внешней средой минимальным, что существенно улучшает чистоту эксперимента.



1 – бокс; 2 и 2а – шприцы; 3 – неразборный узел перемешивания

Рис. 2.

Возможны два варианта вставления шприца – как шприц 2 на рисунке слева и шприц 2а на рисунке справа.

Усовершенствование узла перемешивания состоит в том, что два узла с полумуфтами заменяются на один неразборный узел, как изображено на рис.2. Это увеличивает его простоту и надежность.

Рассматриваемый лендер не является конкурентом или заменой последних многофункциональных лендеров изготовленных в ИО РАН [2]. Он является, скорее, дополнением.

Данный лендер простой и дешевый в изготовлении, не требует специальных плавсредств для постановки. Пробы можно брать как нужно долго из одной точки акватории, и так часто, как позволяют возможности водолазов. За один раз можно брать несколько проб, а именно столько, сколько установлено их по периметру бокса.

Ранее лендер использовался только для забора проб воды; сейчас можно несущественно изменить конструкцию рамы, и вешать на нее различные автономные датчики, например CTD (соленость, температура, плотность), метана и т.д.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Розанов А. Г., Стоянов А. Г. Вершинин А. В.** О методике прямого измерения химического на границе вода-дно // Океанология, 1988. Т. 28. №4. С. 680–685.

2. **Розанов А. Г., Егоров А. В. Вершинин А. В.** Лендер ИО РАН – донная станция для изучения химического обмена на дне моря // Океанология, 2006. Т. 46. №4. С.612–620.

УДК 550.37

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ДНА МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

Пальшин Н. А.

Институт Океанологии им. П.П. Ширшова
Москва,117997, Нахимовский проспект 36,
тел. +7-499-124-79-56, palshin@ocean.ru

Electromagnetic methods for marine hydrocarbon exploration became a demanded tool, which gives possibility to study in particular reservoir and sealing properties of the rock

Электромагнитные методы позволяют изучать распределение электропроводности в недрах Земли. Интерпретация данных об электропроводности, в свою очередь, позволяет оценивать, в частности, температуру и содержание различных примесей, контролирующих проводимость: в первую очередь флюидов. Важно отметить, что эти оценки независимы от традиционно используемых оценок, получаемых сейсмическими методами, поскольку зависимость электропроводности от физических свойств пород основаны на отличных от поведения упругих волн физических принципах.

В настоящее время морская электроразведка превратилась в востребованную на мировом рынке технологию поисков и разведки месторождение углеводородов и газогидратов на дне акваторий. Безусловно, основным геофизическим методом по-прежнему остаётся сейсморазведка, однако во многих ситуациях дополнительная независимая информация, которую даёт электроразведка, оказывается чрезвычайно важной.

В морях и океанах, также как и на суше, применяются две группы методов, использующие ЭМ поля естественного и искусственного происхождения, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. Так, к преимуществам методов с искусственным возбуждением ЭМ поля можно отнести их большую помехозащищенность и способность исследовать малые глубины, а к недостаткам – большую техническую сложность проведения таких работ и, как результат, большую их стоимость. Методы, использующие естественные поля, обладают большой глубинностью, технически проще реализуются, однако при больших

глубинах воды с их помощью нельзя получить информацию о слоях залегающих близко от морского дна, кроме того, они подвержены влиянию различного рода помех.

Прогресс морской электроразведки в последние годы связан главным образом с коммерческими работами на углеводороды и газогидраты. Тем ни менее, исследования глубинного строения земной коры и верхней мантии Земли академической направленности также развивались и были получены интересные результата.

УДК 534.222.2

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗВУКА В ВОДЕ

Дегтярев В. П.[1], Дегтярев А. В.[1], Тарасов С. П.[2]

[1] «Научно-производственное предприятие «Нелакс», 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 8(8634)310635, dvp777@ mail.ru;
[2] Южный федеральный университет 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, дом 44,8(8634)310635, tsp-47@mail.ru.

The report examines the energy parameters and their degree of control for two types of pulsed underwater sound sources – electric discharge and thermoacoustic. According to the results of the comparative analysis recommended the use of thermoacoustic sources to research the bottom in shallow water.

Электрический разряд широко применяется для возбуждения импульсов давления в воде. При электрическом пробое воды возникает плазменный проводящий канал и формируется парогазовая полость, которая является источником вторичных пульсаций. Характерная плотность энергии в канале может достигать до 5000 Дж/см^3 [1].

В существующих электроразрядных источниках с одним каналом разряда формируются импульсы с энергией до 2500 Дж, длительности регулируются в диапазоне от 0,3 до 11 мс, режимы частотной модуляции и излучения пачки одиночных импульсов не применяются из-за сложности управления электрическим разрядом при напряжении в несколько киловольт. Нижнее значение длительностей импульса обусловлено процессами формирования канала электрического пробоя и парогазовой полости в воде, поэтому формирование более коротких импуль-

сов требует специальной конструкции электродов и изменение длины разрядного промежутка, что на практике не используется.

Акустический импульс, генерируемый электроразрядным источником, вследствие схлопывания парогазовой полости характеризуется наличием вторичных пульсаций, существенно затрудняющих обработку отраженных и преломленных эхосигналов. В связи с этим управляемость параметров электроразрядных источников очень ограничена и существенно ниже, чем у электродинамических или пьезоэлектрических.

Перспективным направлением в гидрокустической аппаратуре является использование термоакустического эффекта, на основе которого в настоящее время создаются низкочастотные и широкополосные источники звука. В прошлом столетии были проведены фундаментальные исследования в области оптотермоакустических излучателей на основе поглощения водой лазерного излучения, а в 2010 году в Техасском университете (Даллас, США) были созданы подводные термоакустические излучатели, использующие нагреваемые электрическим током термоэлектроды в виде длинных проводящих углеродных нанотрубок [2]. Однако углеродные нанотрубки малопригодны для длительной работы в воде.

Использование в качестве термоэлектродов тонких металлических проволок, устойчивых к нагреву до 500-600°С и к коррозии, позволяет создавать и исследовать практичные конструкции термоакустических излучателей. С учетом реальных значений электрического сопротивления тонких проволок, длины зоны нагрева воды (1–3 см), общее электрическое сопротивление термоэлектродов составит около 100 мОм. Таким образом, для выделения энергии на термоэлектродах, сопоставимой с энергией, выделяемой при прямом разряде через воду (около 1000 Дж, длительность 0,1 мс), потребуется источник с потенциалом около 1000 В. Величина рабочего тока в этом случае составит около 10 кА, что существенно больше, чем при прямом разряде через воду. При таких токах происходит испарение самих проволок, поэтому энергия электрического импульса должна быть ограничена значением 50–100 Дж (это соответствует уровням энергии, генерируемых в бумерах серии CSP фирмы Applied Acoustics для зондирования дна на глубины до 30 м с разрешением 12 см [3]. Плотность энергии при этом составит около 1000 Дж/см^3 (при длительности нагревающего импульса 0,1 мс). В данном случае плотность поглощенной энергии за время нагревающего импульса не превысит скрытую теплоту испарения воды (2260 Дж/см^3), поэтому кипение воды будет наблюдаться в основном в локальных приповерхностных зонах термоэлектродов. Переход на локально-объемный испарительный механизм возбуждения звука при плотности энергии

1000 Дж/см^3 в канале, образованном узким (диаметр 600 мкм) лазерным лучом в воде, подтвержден экпериментальными исследованиями [4]. Таким образом, в термоакустическом излучателе кроме теплового механизма возбуждения звука, существенную роль играет испарительный механизм, в первую очередь поверхностное и локально-объемное испарение воды. В приповерхностной зоне термоэлектродов плотность энергии будет в десятки раз превышать пороговое значение в 75 Дж/см^2, а температура существенно превысит критическое значение 375°С, при котором исчезает граница жидкость-пар и интенсивно образуются парогазовые пузырьки. Существенное повышение эффективности преобразования тепловой энергии в акустическую при переходе на испарительный режим также подтверждено экспериментально [5].

Сравниваемые параметры электроразрядных и термоакустических источников звука приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры электроразрядных и термоакустических источников звука

№ п/п	Наименование параметра	Единица измерения	Электроразрядный источник	Термоакустический источник
1	Механизм генерации звука	–	В основном объемное испарение	Тепловое расширение, поверхностное испарение, локально-объемное испарение
2	Минимальный электрический потенциал источника для разряда (нагрева)	В	1200	24
3	Уровень вторичных пульсаций	–	Высокий	Незначительный
4	Минимальная длительность акустического импульса	мкс	300	20
5	Диапазон управления длительностью акустического импульса	дБ	30	60
6	Возбуждение пачки одинаковых акустических импульсов	–	Нет	Технически реализуемо

Управление длительностью импульса нагрева в термоакустическом источнике не представляет технической проблемы. При коротких длительностях (единицы и первые десятки микросекунд) основным механизмом генерации звука будет тепловой, при больших длительностях будет проявляться испарительный механизм. Формирование пачки коротких акустических импульсов ограничивается скоростью процессов остывания нагретых зон, а в случае образования пузырьков – временем их существования. Вторичные пульсации будут на один-два порядка меньше, чем у электроразрядного источника, так как вокруг термоэлектродов образуется множество мелких движущихся пузырьков, которые быстро и неодновременно схлопываются, генерируя широкополосный шум.

По результатам сравнительного анализа энергетических параметров импульсных источников звука и степени их управляемости можно сделать следующие выводы. Для формирования в воде одиночных акустических импульсов и пачек импульсов, характеризующихся высокой степенью подобия (по длительности, амплитуде и спектру) предпочтителен термоакустический источник. При работе на мелководье, при глубине исследования грунта не более 5 м такие импульсные источники будут иметь существенно более высокие эксплуатационные характеристики по сравнению с применяемыми компактными электроразрядными источниками (миниспаркерами).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Жулин, В. И., Рехтман, В. И., Римский-Корсаков, А. В., Ямщиков, В. С.** Акустические подводные низкочастотные излучатели. Л.: Судостроение, 1984. – С. 144.

2. **Ali E. Aliev, Marcio D. Lima, Shaoli Fang and Ray H. Baughman.** Underwater Sound Generation Using Carbon Nanotube Projectors. Nano Lett., **2010**. 10 (7). PP. 2374–2380.

3. **Гончар, А. И., Донченко, С. И., Шлычек, Л. И.** Современные технические средства профилирования дна. Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану), Зб. наук. пр. – Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України, 2006. – № 3. – С. 120–128.

4. **Божков, А. И., Бункин, Ф. В., Коломенский, А. А., Маляровский, А. И., Михалевич, В. Г.** Лазерное возбуждение мощного звука в жидкости. Исследования по гидрофизике. Труды ФИАН им. П.Н. Лебедева. Т. 156. М.: Наука, 1984. – С. 138–140.

5. **Витшас, А. Ф., Григорьев, В. В., Корнеев, В. В., Сенцов, Ю. И., Терентьев, А. П., Ульянов, К. Н.** Генерация звука при испарительном режиме взаимодействия с водой. Акустический журнал. 1985. Т. 31. Вып. 3. – С. 309–313.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Аврорин А. В., 182
Аврорин А. Д., 182
Айнутдинов В. М., 182
Аистов Е. А., 17
Амбросимов А. К., 86, 93
Амбросимов А.К., 89
Арашкевич Е. Г., 34
Артемьев В. А., 191
Артемьева Т. С., 16, 215
Асаева К. И., 263

Б

Бабий В. И., 48
Бабий М. В., 48
Багаев А. В., 65
Баннаш Р., 182
Баранов В. И., 19, 172
Баранов В.И., 14, 27
Белевитнев Я. И., 297
Белолаптиков И. А., 182
Богородский Д. Ю., 182
Бондаренко А. Л., 98, 106
Бондарь А. В., 16, 215
Бородин М. А., 153
Бруданин В. Б., 182
Буднев Н. М., 182
Быков Е. М., 77

В

Веденев А. И., 195
Воробьёва Е. С., 141

Г

Гагарин В. И., 301
Гапоненко О. Н., 182
Гапоненко П. Л., 126
Гафаров А. Р., 182
Голубков К. В., 182
Горлов А. А., 116
Гресс Т. И., 182
Григорьев А. В., 191
Губин Н. А., 120

Д

Данильченко И. А., 182
Дегтярев А. В., 305
Дегтярев В. П., 305
Джилкибаев Ж.-А. М., 182
Дмитриевский Н. Н., 220
Долгих Г. И., 176
Домогатский Г. В., 182
Дорошенко А. А., 182
Дудко Д. И., 141
Душко В. Р., 44
Дячок А. Н., 182

Е

Ерофеев Ю. Г., 227

Ж

Жуков В. А., 182

З

Загородников А. В., 182
Захаров А. И., 208
Зацепин А. Г., 19, 34, 109, 172
Зацепин А.Г., 14, 27
Зимин А. В., 164
Зурбанов В. Л., 182

И

Иванов В. В., 230
Иващенко А. И., 224, 278
Ивонин Д. В., 168
Ильинский Д. А., 216

К

Каевицер В. И., 208, 211
Каплуненко Д. Д., 123
Кебкал К. Г., 182
Кебкал О. Г., 182
Клювиткин А. А., 93
Ковалева Е. С., 271
Ковачев С. А., 216, 224, 255, 278
Кожин А. В., 182
Козлов И. Е., 164
Колмак Р. В., 141

Колмыков Е. В., 263
Комар С. А., 293
Кондрашов А. А., 16, 215
Конищев К. В., 182
Коновалов С. К., 259, 267
Константинов Е. Н., 182
Корж А. О., 16, 215
Коробченко А. В., 182
Коротаев В. Н., 230
Кочетов О. Ю., 195
Кошель Ф. К., 182
Кошечкин А. П., 182
Крамарь В. А., 44
Краюшкин Е. В., 19
Кривцов А. П., 211
Крылов А. А., 224, 278
Куклев С. Б., 34, 168, 172
Куклев С.Б., 14, 27
Кулепов В. Ф., 182
Кулешов Д. А., 182
Куракин А. Л., 220
Курапов А. А., 286
Кушнир В. М., 44, 137
Кяспер В. Э., 227

Л

Лазарюк А. Ю., 123
Латушкин А. А., 68
Лебедев К. В., 102
Левченко Д. Г., 216
Левченко О. В., 220
Лежнин В. А., 293, 301
Лемешко Е. Е., 57
Лемешко Е. М., 60
Либина Н. В., 220, 244, 290
Лисицын Е. Д., 227
Лобанов В. Б., 123
Лобковский Л. И., 216, 224, 227, 278
Лобчук О. И., 38
Лунев Е. Г., 77
Ляшук В. И., 182

М

Малах М. П., 126
Мартынов О. В., 68
Медведев Е. В., 267
Мельников В. А., 172
Мельников В.А., 27
Мельникова О. Е., 109
Миленин М. Б., 182
Миргазов Р. А., 182
Монахов С. К., 286
Мотыжев С. В., 77
Мутовкин А. Д., 220
Мысленков С. А., 19, 168

Н

Намятов А. А., 113
Непоменко Л. Ф., 286

О

Оленин А. Л., 17
Оралов Д. В., 153
Орехова Н. А., 11, 259
Орлов В. О., 126
Осипова Е. Р., 182
Островская Е. В., 263
Островский А. Г., 34
Очередник В.В., 14

П

Пака В. Т., 16, 215
Пальшин Н. А., 304
Панфилов А. И., 182
Паньков Л. В., 182
Перевалов А. А., 182
Петрига А. А., 109
Петров А. А., 227
Пиотух В. Б., 172
Пиотух В.Б., 27
Плисковский Е. Н., 182
Подуфалов А. О., 215
Подымов О. И., 34
Подымов О.И., 14, 27
Полетаева М. А., 129
Пронин А. А., 204, 230, 297

Р

Разманов В. М., 211
Репина И. А., 57

Римский-Корсаков Н. А., 204, 230
Рогинский К. А., 216, 227
Родионов А. А., 48, 164
Розанов А. Г., 301
Розанов М. И., 182
Романенков Д. А., 164
Рубцов В. Ю., 182
Рябов Е. В., 182
Рябцев Ю. Н., 60

С

Сагалаев С. Г., 123
Семерюк И. А., 113
Сильвестрова К. П., 19, 172
Сильвестрова К.П., 27
Скурихин А. В., 182
Слепышев А. А., 53
Смагина А. А., 182
Смирнов Г. В., 17
Смольянинов И. В., 208, 211
Соловьев В. А., 34
Станичный С.В., 27
Степанова Н. Б., 149
Стрюк В. Л., 199
Стунжас П. А., 145
Суворова О. В., 182
Сурин М. Н., 297
Сычев В. А., 220

Т

Табоненко В. А., 182
Тарасов С. П., 305
Таращанский Б. А., 182
Таскаев В. Р., 191
Телегин В. А., 168
Толстоконева Е. Н., 178
Толстошеев А. П., 77
Тулупов А. В., 227

У

Умербаева Р. И., 286

Ф

Фёдоров И. С., 141
Федотов Г. А., 133
Фиалковский С. В., 182
Фомин В. В., 60

Х

Халиков И. С., 204, 234, 238, 242
Хонз З., 182
Хоружий Д. С., 267

Ц

Цибульский А. Л., 195
Цыганова М. В., 60

Ч

Ченский А. Г., 120
Ченский Д. А., 120
Чепыженко А. А., 61
Чепыженко А. И., 61
Черкесов Л. В., 40
Черников А. Г., 290
Чернышов П. В., 168
Чубаренко И. П., 65, 149

Ш

Шайбонов Б. А., 182
Шатравин А. В., 195
Шеифлер А. А., 182
Широков А. В., 182
Шоларь С. А., 137
Шульга Т. Я., 40

Щ

Щевьёв В. А., 78, 83

Я

Яковлев С. А., 182