

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 504.53, 681.2:001.92

№ госрегистрации: 01201171205
Инв. №

УТВЕРЖДАЮ



Директор института
академик

Ю.Н. Кульчин

02 октября 2012 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

Разработка аппаратных средств и методов для оперативного гидрологического и экологического мониторинга морских акваторий с использованием УСУ «Лазерные методы исследования конденсированных сред, биологических объектов и мониторинга окружающей среды»

Шифр 2011-1.8-518-005

Государственный контракт от «12» мая 2011 г. № 16.518.11.7050
в рамках ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы» (мероприятие Программы 1.8)

Этап 4

Проведение морских и дополнительных исследований.
Обобщение и оценка результатов исследований
(заключительный)

Научный руководитель,
д.ф.-м.н.

02.10.2012

Павлов А.Н.



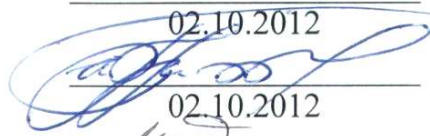
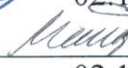
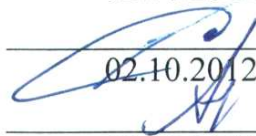
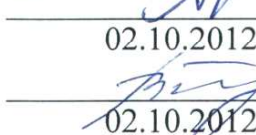
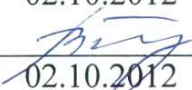
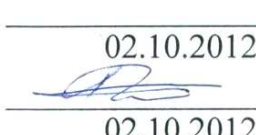
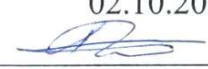
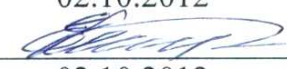


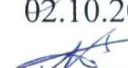

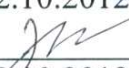
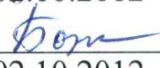
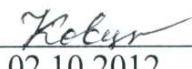
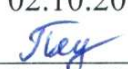
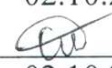
Нормоконтролер

02.10.2012

Полозова Н.И.

Владивосток 2012

СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель, зав. лаб., д.ф.-м.н.	 _____	Павлов А.Н. (Введение, раздел 1,2, 6, Заключение)
	02.10.2012	
Исполнители темы: директор ИАПУ ДВО РАН, академик, д.ф.-м.н.	 _____	Кульчин Ю.Н. (Введение, раздел 1,5, Заключение)
	02.10.2012	
зав. лаб., д.ф.-м.н.	 _____	Букин О.А. (раздел 1, 2)
	02.10.2012	
в.н.с., д.т.н.	 _____	Майор А.Ю. (раздел 2, 3)
	02.10.2012	
зав. лаб., д.ф.-м.н.	 _____	Вознесенский С.С. (раздел 1, раздел 6)
	02.10.2012	
зав. лаб., д.ф.-м.н.	 _____	Алексанин А.И. (раздел 1, 6)
	02.10.2012	
зав. лаб., д.ф.-м.н.	 _____	Буланов В.А. (раздел 1, 2)
	02.10.2012	
с.н.с., к.ф.-м.н.	 _____	Константинов О.Г. (раздел 1, 2)
	02.10.2012	
с.н.с., к.ф.-м.н.	 _____	Салюк П.. (раздел 1)
	02.10.2012	
с.н.с., к.т.н.	 _____	Гамаюнов Е.Л. (введение, раздел 1, 2, 3)
	02.10.2012	
с.н.с., к.ф.-м.н.	 _____	Столярчук С. Ю. (раздел 1, 2)
	02.10.2012	
н.с., к.т.н.	 _____	Нагорный И.Г. (раздел 2)
	02.10.2012	
м.н.с.	 _____	Коротенко А.А. (раздел 1, 4)
	02.10.2012	
м.н.с.	 _____	Попик А.Ю., (раздел 1,2)
	02.10.2012	
инж.- программист	 _____	Кажура Е.А., (раздел 1, 2)
	02.10.2012	
лаборант	 _____	Боровский В.О. (раздел 5)
	02.10.2012	
лаборант	 _____	Ковальчук И.С. (раздел 1, 2)
	02.10.2012	
лаборант	 _____	Панаев Г.А. (раздел 1)
	02.10.2012	
лаборант	 _____	Слесарев Н.Ю.. (раздел 1)
	02.10.2012	

РЕФЕРАТ

Отчет 160 с., 36 рис., 10 табл., 24 источника, 7 прил.

УНИКАЛЬНЫЕ СТЕНДЫ И УСТАНОВКИ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ ФИТОПЛАНКТОНА, ЛАЗЕРНАЯ ИНДУЦИРОВАННАЯ ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ, ЛИДАРНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ, ОПТОВОЛОКОННЫЙ ДАТЧИК ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ, ФОТОСИНТЕЗИРУЮЩИЙ АППАРАТ, ПАРАМЕТРЫ ФОТОСИНТЕЗА

Объектом исследования являются микроводоросли – фитопланктон как биологический индикатор экологического состояния морских акваторий.

Цель работы - разработка аппаратуры и методов лазерной спектроскопии и оптической локации для оперативного измерения гидрологических параметров и экологического состояния морских акваторий путем зондирования вод с целью диагностики состояния фитопланктонных и зоопланктонных сообществ как природных индикаторов экологического состояния акваторий.

В процессе работы проводились экспериментальные исследования макета мобильного комплекса, эксплуатационные и метрологические параметры приборов, входящих в его состав.

В результате исследования были созданы лидарные, проточные и погружаемые флуоресцентные системы и впервые использованы совместно с гидроакустическими локаторами для оценки концентрации Хлорофилла а и измерения параметров флуоресценции фитопланктона. Разработана и опробована методика применения оптических и гидроакустических средств для экологического мониторинга морских акваторий.

Конструктивное исполнение разработанного комплекса ориентировано на применение на малых судах и яхтах, что позволяет существенно снизить затраты на эксплуатацию и сократить время обследования акваторий.

Степень внедрения – лабораторный макет, позволяющий выполнять эпизодические обследования морских акваторий.

Существенно расширены функциональные возможности УСУ «Лазерные методы исследования конденсированных сред, биологических объектов и мониторинга окружающей среды» Института автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения РАН в результате дооснащения имеющихся специализированных комплексов новым научным оборудованием и развития новых методов выполнения измерений состояния акваторий для обеспечения исследований в форме коллективного пользования.

Содержание

Введение.....	8
Краткое содержание работ, выполненных на предыдущих этапах.....	9
1. Развитие и модернизация приборного комплекса УСУ.....	16
1.1 Программа развития приборного комплекса УСУ ЛаМИ.....	16
1.2 Анализ реализации программы развития приборного комплекса УСУ ЛаМИ в рамках настоящего госконтракта.....	17
1.3 Выводы по разделу	18
2. Морские испытания в соответствии с программой экспериментальных исследований	19
2.1 Разработка программы морских исследований.....	19
2.2 Морские испытания измерительного комплекса.....	23
2.3 Калибровка измерительного комплекса.....	39
2.4 Выводы по разделу	43
3. Анализ полученных результатов, доработка разработанного измерительного комплекса и методики его применения	45
3.1 Основные научные результаты	45
3.2 Доработка измерительного комплекса.....	58
3.3 Методика применения измерительного комплекса.....	63
3.3.7 Структура, состав и реализация базы данных измерительной системы.....	72
3.4 Выводы по разделу	73
4. Рекомендации по использованию полученных результатов, в том числе в реальном секторе экономики, а также в дальнейших исследованиях и разработках.....	75
4.1 Анализ возможности использования измерительного комплекса в реальном секторе экономики.....	75
4.2 Использование измерительного комплекса при проведении научных исследований.....	77
4.3 Перспективы развития и применения разработанного измерительного комплекса.....	78
4.4 Выводы по разделу	79
5. Оценка рыночного потенциала полученных результатов	81
5.1 Рыночный потенциал реализации разработанного измерительного комплекса	81
5.2 Рыночный потенциал реализации результатов исследования акваторий с применением разработанного измерительного комплекса	84
5.3 Выводы по разделу	85
6. Достижение заданных значений программных индикаторов	87
6.1 Услуги УСУ ЛаМИ предоставленные сторонним предприятиям	87
6.2 Публикации по тематике выполненных исследований	89
6.3 Привлечение студентов и молодых специалистов для выполнения исследований в рамках контракта	95
6.4 Закупка оборудования	97
6.5 Выводы по разделу	100
7 Заключение.....	101
Приложение А. Программа и методики испытаний №2.....	96
Приложение Б. Акт испытаний	108

Приложение В. Методика мониторинга экологического состояния морских акваторий	122
Приложение Г. Расчет эффективности использования комплекса для измерения концентрации и определения параметров фотосинтеза фитопланктона в морской воде	.137
Приложение Д. Перечень органов федерального уровня, выполняющих мониторинг водных объектов в Российской Федерации 139
Приложение Е. Протокол испытания по п. 3.3 Программа и методики испытаний №2 13.09.12 152
Приложение Ж. Расчет себестоимости изготовления комплекса для мониторинга морских акваторий в заводских условиях 158

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем отчете о НИР использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 7.1-2003 – Список использованной литературы

ГОСТ 7.32 – 2001 – оформление отчёта о НИР

ГОСТ 1.5—93 Государственная система стандартизации РФ. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию стандартов

ГОСТ 6.38—90 Унифицированные системы документации. Система организационно-распорядительной документации. Требования к оформлению документов

ГОСТ 7.1—84 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления

ГОСТ 7.9—95 (ИСО 214—76) Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация. Общие требования

ГОСТ 7.12—93 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила

ГОСТ 7,54—88 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Представление численных данных о свойствах веществ и материалов в научно-технических документах. Общие требования

ГОСТ 8.417—81 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы физических величин

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие обозначения и сокращения:

ДВО РАН – Дальневосточное отделение Российской Академии Наук

ИАПУ – Институт автоматики и процессов управления

ЦКП – Центр коллективного пользования

УСУ – уникальные стенды и установки

КР – комбинационное рассеяние

ОВ - оптоволоконный

РОВ – растворенное органическое вещество

ЛИФ – лазерная индуцированная флуоресценция

ДЛФ – двухчастотный лазерный флуориметр

ИПФ – измеритель параметров фотосинтеза

Хлорофилла *a* – хлорофилл *a*

Введение

Техногенные и естественные катастрофы, изменение климата приводят к резким изменениям состояния морских вод, что в свою очередь сказывается на протекающих в них, биоорганических процессах и в результате на эффективность воспроизводства и местоположения морских животных, рыб и растений, являющихся объектами промысла человека. Высокоэффективное и рациональное природопользование ресурсов мирового океана предусматривает непрерывное отслеживание состояния морских вод с целью построения надежных прогнозов и планов потребления. Особую актуальность приобретает задача обследования прибрежных акваторий, в которых ведется активная человеческая деятельность, для чего требуется проведение систематических, а иногда и непрерывных измерений большого числа параметров воды и атмосферы. В особенности это касается измерения содержания загрязняющих веществ в воде и атмосфере, отрицательно влияющих на жизнедеятельность в так называемом фотическом слое, который определяет экологическое благополучие в приморских регионах.

Для измерения физических параметров воды и присутствующих в ней растворенных и взвешенных веществ используются различные измерительные приборы, устанавливаемые на большие и малые суда различного класса мореходности и автономности, обитаемые и необитаемые подводные аппараты (подводные роботы), привязные и свободно плавающие буи. Очень важна оперативность обнаружения изменения экологической обстановки, что позволяет вовремя найти и локализовать источники загрязнений и предупредить возникновение экологических бедствий. Большая площадь морских акваторий и неравномерное распределение фитопланктона по глубине требует выполнения трудоемких измерений в большом количестве точек, во время остановок судна-носителя при значительном времени измерений в каждой точке. Это приводит к увеличению сроков обследования и большим затратам средств, большую часть из которых составляют затраты на эксплуатацию судна – носителя. Очевидно, что для оперативного контроля экологического состояния прибрежных морских акваторий требуется создание плавучих лабораторий, размещаемых на малых судах с небольшим экипажем и недорогих в эксплуатации. Для таких лабораторий необходимо создание специального измерительного оборудования, широкой функциональности и универсальности, отличающегося компактностью и малым энергопотреблением.

Различные экологические факторы и антропогенные загрязнения, воздействующие на наземные и водные экосистемы, приводят к изменению концентрации и фотосинтетической активности клеток фотосинтезирующих организмов [1, 2]. В связи с этим, параметры функционирования фотосинтетического аппарата растений являются наиболее значимыми для

определения экологического состояния любого региона. Экологическое состояние водных акваторий может быть оценено по концентрации и биологической активности первичного звена в биологической цепочке жизни на земле – микроводорослей фитопланктона [3,4]. Его количество и биологическая активность прямо зависят от присутствия вредных веществ попадающих в воду из атмосферы и различных загрязняющих источников техногенного характера. Поэтому, регистрация фотосинтетических характеристик фитопланктона является эффективным способом оценки состояния водной среды в целом.

Имеющиеся на рынке и широко используемые средства измерения концентрации хлорофилла и его биологической активности в воде [3 – 8], не позволяют достоверно измерять концентрацию пигментов фитопланктона в водах с высоким содержанием растворенных органических веществ, что особенно характерно для прибрежных вод. Отсутствуют мобильные погружаемые системы для определения параметров жизнедеятельности фитопланктона. Эти средства не приспособлены для выполнения измерений во время движения судна-носителя, что необходимо для повышения эффективности выполнения измерений на протяженных акваториях.

В настоящее время, существует острая потребность в таком измерительном комплексе, который бы позволял выполнять оценку распределения фитопланктона и растворенных веществ по глубине, во время движения судна-носителя, и выполнять измерение параметров фотосинтеза при остановках или в дрейфе.

Разработка и изготовление экспериментального макета измерительного комплекса, который бы позволил выполнять оценку содержания и определять параметры фотосинтеза фитопланктона в морской воде явилось целью данного проекта. В процессе выполнения проекта выполнено исследование основных характеристик и параметров такого комплекса, подтверждающих возможность его создания и использования для указанных целей, а также выбор и приобретение необходимого для этого научного оборудования.

Краткое содержание работ, выполненных на предыдущих этапах.

Период выполнения работ по контракту в соответствии с календарным планом был разделен на четыре этапа. Ниже указываются основные работы, выполненные на предыдущих этапах и приводятся основные результаты полученные во время их исполнения .

1 этап (май - июнь 2011 г.) .

Выполнен аналитический обзор и анализ современной научно-технической и методической литературы. В результате сделаны выводы о первостепенном значении фитопланктона в биоценозе мирового океана и его информационных возможностях как

первичного индикатора состояния водной экосистемы. Выполнен обзор методов определения концентрации и состояния фитопланктона, таких как люминесценция, флуоресценция и лидарное зондирование, которые позволяют проводить исследования не только поверхностного слоя океана, но и нижележащих слоёв. В отчёте приведены описания и технические возможности флуориметров, работающих на разных методах исследования: однолучевой и двухлучевой флуориметры, флуориметры на методиках «Pump and Probe», FRRF, PAM, флуориметры с лазерными и светодиодными источниками возбуждения флуоресценции фитопланктона (WetLabs и TriOS GmbH). Собраны и изучены различные материалы и информационные источники, имеющие непосредственное отношение к системам измерения концентрации и определения параметров фотосинтеза фитопланктона. Описаны принципы построения лидаров соосного зондирования с авиа- и судовым размещением. Рассмотрены имеющиеся на мировом рынке флуориметры для определения параметров фотосинтеза фитопланктона в морской воде: FASTtracka (Великобритания), FluoroProbe (Германия), РНУТО-РАМ (Германия).

В ходе патентных исследований выполнен поиск по российским (<http://www.fips.ru>) и зарубежным (<http://ep.espacenet.com>) ведомствам с ретроспективой в десять лет, который показал, что в настоящее время активно ведутся поиски создания комплексов для оперативного измерения гидрологических параметров и экологического состояния морских акваторий на основе определения параметров фотосинтеза фитопланктона в морской воде, и разработка подобных комплексов является актуальной.

Проведен анализ предварительных исследований по результатам экспедиционных измерений в морской прибрежной зоне г. Владивостока и доработана Программа развития УСУ на 2011-2012 годы. На базе современного научного оборудования УСУ была организована подготовка студентов и аспирантов.

2 этап (июль-ноябрь 2011 г.)

1. Выполнено теоретическое обоснование физических основ измерения концентрации и определения параметров фотосинтеза фитопланктона в морской воде с применением волоконно-оптического датчика флуоресценции

Были рассмотрены схемы возбуждения и приёма флуоресцентного излучения приборами с прокачиваемыми кюветами. Также рассмотрена возможность применения оптоволоконных датчиков в конструкции флуориметров. На основе анализа методик возбуждения флуоресценции фитопланктона был выбран метод импульсной амплитудной модуляции (Pulse Amplitude Modulation) флуоресценции как наиболее эффективный для анализа параметров фотосинтеза фитопланктона, так как он позволяет измерять концентрацию, скорость транспорта электронов, фотохимическое и нефотохимическое тушение. Для данного метода были

рассчитаны мощности оптического воздействия на фитопланктон методом импульсно-амплитудной модуляции (РАМ): для измерительного излучения (measuring light) - $0,06 \text{ мкВт/м}^2$, насыщающее излучение (saturating pulse) - $0,06 \text{ Вт/м}^2$; а так же мощность излучения одной клетки хлореллы в процессе фотосинтеза – $1,2 \text{ нВт}$.

2. Выполнено теоретическое обоснование применения параметров распространения и рассеяния оптического излучения в воде для восстановления профиля концентрации фитопланктона. Метод лидарного зондирования относится к активным оптическим методам зондирования ВСО. Успешно решаемой задачей в рамках метода дистанционной лазерной флуориметрии, является обнаружение и картирование полей фитопланктона. Количественная оценка содержания фитопланктона в толще воды позволяет определить биопродуктивность вод и их перспективность для рыбного промысла. Кроме определения концентрации фитопланктона, метод нелинейной флуориметрии, позволяет получить информацию о видовом составе и активности клеток фитопланктона. Учитывая то обстоятельство, что фитопланктон наиболее распространенный объект в ВСО и довольно тонко реагирует на изменения параметров среды его обитания, предложено использовать клетку фитопланктона в качестве чувствительного природного датчика.

На втором этапе работ на макете соосного лидара была отработана методика проведения зондирования в атмосфере и произведена оценка геометрического фактора системы при различных диафрагмах угла поля зрения.

3. Теоретически обоснованы методы измерения концентрации и определения параметров фотосинтеза фитопланктона в морской воде для создания экспериментального образца волоконно-оптического датчика флуоресценции, проработан прототип двухволоконного датчика. Для реальных условий эксплуатации были учтены факторы изгиба волокон на несущих установках, т.к. единственный способ неразрушающего размещения длинных волоконных линий – это сворачивание, поэтому для основной длины волны приёма флуоресцентного излучения фитопланктона (685 нм) были определены значения ослабления сигнала при различных радиусах изгиба оптического волокна.

Флуоресцентное излучение фитопланктона обладает малой мощностью, поэтому для повышения соотношения сигнал/шум были проработаны вопросы защиты оптоволоконного датчика от засветки рассеянным в воде солнечным излучением при дневных измерениях.

4. Выполнен анализ возможностей совместного применения различных методов регистрации отраженных сигналов для восстановления профиля концентрации фитопланктона.

С целью верификации биооптических алгоритмов расчета концентрации хлорофилла «а» в рамках проекта была разработана более совершенная версия лазерного проточного флуориметра выполняющего измерения спектров флуоресценции хлорофилла «а» и РОВ по

ходу движения судна, к которому пристыковывается оптоволоконный погружаемый зонд для проведения измерений по глубине в режиме дрейфа.

В ходе выполнения работ было установлено, что весовая функция для расчета взвешенных концентраций хлорофилла «а» и РОВ может быть получена из данных лидарного зондирования. Представляет интерес применения ее для восстановления гидрооптических характеристик и проведения оценки её связи с вертикальным профилем концентрации хлорофилла «а» для различных доминирующих видов клеток фитопланктона.

5. Выполнена модернизация приборного комплекса УСУ. Проведен анализ выбранных методов и методик, а также обоснование и выбор необходимого научного оборудования для обеспечения их реализации.

Оценка возможности измерения параметров фотосинтеза хлорофилла-А, выполнялась на модернизированном оптоволоконном макете флуориметра с погружаемым модулем в ходе экспедиций с 01 по 22 сентября 2011 г в заливе Петра Великого.

Эксперименты, выполненные с лидарной установкой показали, что для надежного отслеживания глубины залегания границы слоя фитопланктона необходимо увеличение разрешающей способности лидара. Расчеты показывают, что частота дискретизации АЦП в такой системе должна лежать в диапазоне 10 – 100 МГц.

Выявленные недостатки позволили сформировать программу модернизации имеющегося в составе УСУ оборудования с целью выполнения мониторинга концентрации и состояния фотосинтеза фитопланктона.

В результате анализа, имеющегося на рынке приборов и комплектующих для создания измерительных систем, были сформированы технические задания (ТЗ) и объявлены конкурсы на поставку необходимого оборудования.

Выполненные работы позволили расширить функциональные возможности имеющегося в составе УСУ «ЛаМИ» оборудования для выполнения измерений концентрации фитопланктона, значительно повысить его надежность и практичность, а так же появилась возможность перейти на новый этап измерений: измерений параметров фотосинтеза, характеризующих экологическое состояние акваторий.

3 этап (январь – июнь 2012)

1. Создан экспериментальный образец измерительного комплекса для оценки содержания и определения параметров фотосинтеза фитопланктона в морской воде.

Для выполнения исследования оптических параметров светорассеивания морской среды с разрешением по глубине на ходу судна была разработана лидарная система с погружаемым иллюминатором, который устанавливается в оптическую шахту судна носителя. Погружаемый иллюминатор устанавливался в подводной шахте на яхте «Олимп». Лидарная система с ФЭУ-85

и 14-разрядным аналого-цифровым преобразователем с частотой дискретизации 100 МГц крепились на погружаемом иллюминаторе в шахте судна. Для работы лидарной системы было разработано программное обеспечение для сбора и сохранения данных с устройства и программа визуализации данных. После юстировки и настройки прибора - на экране дисплея наблюдается картина эхограммы: зависимость интенсивности от расстояния (глубины).

Для выполнения исследования параметров фотосинтеза фитопланктона на ходу судна был разработан и изготовлен измеритель с прокачиваемой кюветой, подключаемый к прокачивающей системе. В измерителе с прокачиваемой кюветой установлены синие светодиоды HPL-H77GB1C0. В качестве приемника оптического сигнала использовано ФЭУ-79 с оптическим фильтром КС-18, 10-кратным предусилителем сигнала и 14-битным АЦП USB3000. Для измерителя с прокачиваемой кюветой был разработан интерфейс управления светодиодными излучателями в соответствии с методикой FRRF возбуждения фитопланктона. Для съема данных с АЦП разработана программа, позволяющая регистрировать реакции микроводорослей на отдельные вспышки светодиодов. Скорость смены воды в кювете измерителя составляет $5 \pm 0,1$ л/мин.

Для выполнения исследования параметров фотосинтеза фитопланктона в дрейфе был разработана измерительная система с погружаемым измерительным модулем. Погружаемый модуль содержит оптоволоконные датчики: флуоресценции, давления FBG-P-1540 и температуры FBG-T-1550. Разработанный погружаемый модуль имеет габариты 115 мм в диаметре, 500 мм в высоту, масса в воздухе - 7 кг, в воде 4 кг. Погружаемый модуль может опускаться на глубину до 100 метров. Источник излучения выполнен на светодиодах фирмы ProLight Opto и позволяет возбуждать флуоресценцию фитопланктона методом импульсно-амплитудной модуляции благодаря четырём различным режимам освещения. В качестве приемника оптического сигнала в бортовом модуле использовано модернизированное фотоприёмное устройство (ФПУ) фирмы «Ломофотоника» на основе ФЭУ R928 фирмы «Hamamatsu». В ФПУ добавлен светофильтр КС-18 предотвращающий засветку от возбуждающего излучения.

Для гидроакустического мониторинга распределения фитопланктона использовался акустический профилограф течений ADP фирмы SONTEC (США), который позволяет изучать рассеяние звука на частоте 250 кГц. В экспериментах использовалась также дополнительная акустическая система измерения рассеяния звука - мощный излучатель FURUNO с частотой накачки 200 кГц, который способен поддерживать излучение при электрической нагрузке на резонансе $W \sim 2$ кВт. Комплекс включает трехлучевую антенну, блок питания в цилиндрическом боксе. Комплекс может производить измерения в автономном режиме и в

режиме реального времени. Отдельная антенна с излучателями крепится на борту судна на выдвижном креплении, так чтобы заглубление антенны было не меньше 1.5 метров.

Комплексная подготовка оборудования позволила выполнять исследования с помощью следующего оборудования:

- лидара с оптической шахтой;
- флуориметра с прокачиваемой кюветой;
- оптоволоконного флуориметра с погружаемым модулем;
- высокочастотного гидроакустического комплекса.

2. Проведены испытания в соответствии с программой экспериментальных исследований.

Проведен цикл работ по исследованию рассеяния звука с целью получения информации о различных типах неоднородностей, размерного состава и пространственного распределения неоднородностей в деятельном слое океана. Получены результаты акустического зондирования верхнего слоя морской воды в Японском море. Работы по изучению рассеяния звука на различных частотах проводились на шельфе Японского моря, в заливе Петра Великого, где были отработаны основные методы и изучены основные акустические характеристики. Работы проводились в морских экспедициях на малотоннажных НИС "Малахит" и "Импульс" (шельф Японского моря)

В отчёте были представлены эхограммы различных участков морских акваторий Японского моря с глубинами до 60-70 метров. Исследования показали характерные сезонные особенности рассеяния в воде. Были проведены исследования особенностей рассеяния звука на различных типах рассеивателей, встречающихся в морской воде. Основное внимание было сосредоточено на зоо- и фитопланктоне и на газовых пузырьках, которые дают основной вклад в рассеяние звука в верхнем слое моря.

Выполнено исследование отдельных функциональных, эксплуатационных, технических характеристик экспериментального образца измерительного комплекса для измерения концентрации и определения параметров фотосинтеза фитопланктона в морской воде, установленных требованиями ТЗ. Разработана программа испытаний макета измерительного комплекса. Выполнены испытания всех подсистем макета измерительного комплекса с составлением акта испытаний и протоколов испытаний подсистем.

Доработана уставная документация по УСУ ЛаМИ ДВО РАН. Новое оборудование включено в состав УСУ ЛаМИ.

Показана высокая эффективность полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем.

Литература к подразделу

1. M. Schmitt-Jansen, R. Altenburger: The use of pulse-amplitude modulated (PAM) fluorescence-based methods to evaluate effects of herbicides in microalgal systems of different complexity// *Toxicological & Environmental Chemistry*. – 2007. 89, pp. 665-681.
2. N.G.A. Ekelund, C.A. Nygård, R. Nordström, A.M. Gylle: In situ study of relative electron transport rates in the marine macro alga *Fucus vesiculosus* in the Baltic Sea at different depths and times of year// *Journal of Applied Phycology*. – 2008. 20, pp. 751-756.
3. S. Beer, M. Ilan, A. Eshel, A. Weil and I. Brickner: Use of pulse modulated (PAM) fluorometry for in situ measurements of photosynthesis in two Red Sea faviid corals// *Marine Biology*. – 1998. 131, pp. 607-612.
4. Д.Ю. Корнеев: Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла// - К.: “Альтерпрес”, 2002. - 188 с.
5. Porcar-Castell, E. Pfündel, J.F.J. Korhonen, E. Juurola: A new monitoring PAM fluorometer (MONI-PAM) to study the short- and long-term acclimation of photosystem II in field conditions// *Photosynthesis Research*. - 2008. 96, pp. 173-179.
6. R. Neil, L. Baker, and Eva Rosenqvist: Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities // *Journal of Experimental Botany*. - August 2004, Vol. 55, No. 403, pp. 1607–1621.
7. M. Obata, T. Toda, S. Taguchi: Using chlorophyll fluorescence to monitor yields of micro algal production// *Journal of Applied Phycology*. – 2009. 21, pp. 315-319.
8. DIVING PAM Underwater Fluorometer// Walz Mess- und Regeltechnik [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.lombardemarozzini.com/pdf/Inglese/L&M%20-%20divpam.pdf

1. Развитие и модернизация приборного комплекса УСУ

В соответствии с Положением, регламентирующим деятельность приборного комплекса УСУ «Лазерные методы исследования конденсированных сред, биологических объектов и мониторинга окружающей среды» (УСУ ЛаМИ), одной из важнейших сфер деятельности УСУ ЛаМИ является изучение процессов взаимодействия атмосферных явлений с морской средой, изменение состояния морской среды под действием природных и техногенных явлений. Для этого в состав УСУ ЛаМИ включено научное и измерительное оборудование, предназначенное для:

- мониторинга окружающей среды;
- изучения физических процессов в атмосфере и океане;
- сопровождения и наполнения баз данных спутникового зондирования поверхности Земли и подспутниковых измерений, направленных на повышение достоверности спутниковой информации об оптических параметрах атмосферы и биооптических параметрах верхнего слоя океана;
- сопровождения и развития прикладных и фундаментальных научных исследований в области лазерной физики и спектроскопии, физики океана и атмосферы, океанологии и морской биологии.

В рамках настоящего госконтракта предусматривалось развитие приборной базы для измерения распределения по глубине концентрации фитопланктона в морских акваториях и отслеживания профиля распределения с помощью лидара и гидроакустического эхолота, что нашло отражение в разработанной при выполнении первого этапа госконтракта - программе развития УСУ «ЛаМИ» ИАПУ ДВО РАН на 2011-2012 гг.

1.1 Программа развития приборного комплекса УСУ ЛаМИ

В таблице 1.1 приведена выдержка из Мероприятий Программы развития УСУ ЛаМИ ИАПУ ДВО РАН на 2011-2012 гг. .

Таблица 1.1

Выдержка из Мероприятий Программы развития УСУ ЛаМИ ИАПУ ДВО РАН на 2011-2012 гг.

Сформировать мобильный флуориметрический измерительно-вычислительный комплекс, для измерения зависимости от глубины концентрации и параметров фотосинтеза фитопланктона для океанических и прибрежных вод.	Июль 2011 – июнь 2012
Сформировать мобильный лидарный измерительно-вычислительный комплекс, для оценки зависимости от глубины	Июль 2011 – июнь 2012

концентрации фитопланктона для океанических и прибрежных вод.	
Выполнить подготовку и дооснащение парусно-моторной яхты, оборудованной оптической шахтой, с целью установки аппаратного комплекса, предназначенного для выполнения флуориметрических и лидарных измерений зависимости от глубины содержания и параметров фотосинтеза фитопланктона.	Июль 2011 – июнь 2012
Разработать методику калибровки аппаратного комплекса для измерений зависимости от глубины содержания фитопланктона.	Май 2012 – октябрь 2012
Провести экспериментальные исследования по распространению фитопланктона и зоопланктона на различных глубинах в акватории Залива Петра Великого.	Июль 2012 – октябрь 2012
Выполнить разработку методики совместного использования флуоресцентных, лидарных и гидроакустических систем для мониторинга экологического состояния морских акваторий.	Июль 2011 – октябрь 2012

1.2 Анализ реализации программы развития приборного комплекса УСУ ЛаМИ в рамках настоящего госконтракта

В процессе выполнения настоящей НИР на 1 – 3 этапах госконтракта были выполнены следующие работы по реализации программы развития УСУ ЛаМИ:

1. Сформирован мобильный флуориметрический измерительно-вычислительный комплекс, для измерения зависимости от глубины концентрации и параметров фотосинтеза фитопланктона для океанических и прибрежных вод. Разработанный комплекс представляет собой измеритель флуоресценции, к которому могут подключаться прокачиваемая кювета с программно управляемыми светодиодными излучателями или погружаемый модуль с оптоволоконными датчиками. Состав, структурные схемы и конструктивное исполнение флуориметрического измерительно-вычислительного комплекса подробно представлены в отчете по 3 этапу контракта.

2. Сформирован мобильный лидарный измерительно-вычислительный комплекс, для оценки зависимости от глубины концентрации фитопланктона для океанических и прибрежных вод. Лидарный комплекс конструктивно выполнен в виде прибора, устанавливаемого в оптическую шахту судна. Состав, структурные схемы и конструктивное исполнение лидарного комплекса подробно представлены в отчете по 3 этапу контракта.

3. Выполнена подготовка и дооснащение парусно-моторной яхты, оборудованной оптической шахтой, с целью установки разработанного в контракте аппаратного комплекса, предназначенного для выполнения флуориметрических и лидарных измерений зависимости от глубины содержания и параметров фотосинтеза фитопланктона.

На 4 этапе выполнения госконтракта были выполнены следующие работы:

1. Учитывая высокую стоимость и сложность подготовки оптических шахт в деревянных и пластиковых корпусах парусных судов, был также проведен ряд экспериментов с мобильной оптической шахтой, которая устанавливалась на малом научно-исследовательском судне со

стальным корпусом. Выполненные морские испытания, во время двух экспедиций в сентябре 2012 г., показали высокую эффективность и практичность такого решения.

2. Разработана методика калибровки аппаратного комплекса для измерений зависимости от глубины содержания фитопланктона. Калибровка основана на выполнении совместных измерений с помощью калиброванных флуорометрических датчиков WetLabs. Методика апробирована в ходе морских экспедиций в Заливе Петра Великого.

3. Разработана методика совместного использования флуоресцентных, лидарных и гидроакустических систем для мониторинга экологического состояния морских акваторий. Методика включила в себя алгоритмы обработки панорамных изображений морской поверхности, алгоритмы обработки акустических, лидарных, проточных флуорометрических измерений выполняемых на ходу судна, а также алгоритмы обработки вертикального флуорометрического профилирования толщи воды с целью определения фотосинтетической активности клеток фитопланктона. Методика включена в состав методического обеспечения УСУ ЛаМИ.

4. Выполнены экспериментальные исследования содержания фитопланктона на различных глубинах в акватории Залива Петра Великого. В частности выполнен ряд измерений в бухте Витязь с режиме «суточная станция» и точечные замеры по курсу движения б. Витязь - б. Золотой Рог. Впервые измерены оптические параметры фотосинтеза фитопланктона в разное время суток двухлучевым лазерным и оптоволоконным флориметром. Гидроакустические измерения позволили наблюдать общее распределение зоопланктона с пространственным разрешением 1.5 метра. Картина пространственного распределения планктона лазерным лидарным зондированием совпала с результатами гидроакустических измерений в режиме крейсерского хода судна. Морские экспериментальные исследования включили в себя ряд экспедиций в сентябре 2012 года. Экспедиции выполнялись на НИС «Импульс» и НИС «ГАЛС».

1.3 Выводы по разделу

Работы, выполненные в рамках настоящего контракта, позволили существенно расширить функциональные возможности и приборную базу УСУ ЛаМИ. Созданный лабораторный макет измерительного комплекса для измерения зависимости от глубины концентрации и параметров фотосинтеза фитопланктона, как и методика его применения, позволяют выполнять уникальные исследования процессов фотосинтеза фитопланктона на разных глубинах в среде его обитания, а также отслеживать распределение плотности фитопланктона, не прерывая движение судна-носителя.

2. Морские испытания в соответствии с программой экспериментальных исследований

2.1 Разработка программы морских исследований

Морские испытания являются продолжением испытаний, выполненных ранее в лаборатории и во время экспедиции на оз. Байкал (см. отчет по 3 этапу ГК).

Цели программы морских испытаний:

1. Показать возможность прибора измерять концентрацию и параметры фотосинтеза фитопланктона в морской воде, вблизи береговой линии и в открытом море, на различных глубинах.
2. Разработка методики выполнения измерений при помощи гидролидара и флуориметра.
3. Калибровка измерений с помощью имеющихся в составе УСУ ЛаМИ приборов.
4. Выполнение измерений суточных изменений концентрации и параметров фотосинтеза фитопланктона.
5. Выполнение измерения концентрации и параметров фотосинтеза хлорофилла в различных точках акватории и их сравнение.
6. Оценка удобства транспортировки и эксплуатации флуорометра.
7. Выявление возможных недостатков конструкции.

Испытания разработанного комплекса планируется выполнять на научной станции «мыс Шульца», которая находится в Хасанском районе в заливе Посьета. На станции есть причал, к которому может быть пришвартовано маломерное судно. Для проведения экспериментальных исследований планируется использовать малые научно-исследовательские суда НИС «Малахит» и НИС «Импульс». С учетом графика пользования научными судами и прогнозом погоды, были запланированы две экспедиции:

1. С 12.09.2012 по 15.09.2012 (НИС «Малахит»)
2. С 27.09.2012 по 02.10.2012 (НИС «Импульс»)

В таблицах 2.1 и 2.2 представлены планы мероприятий для экспедиций.

Таблица 2.1.

План работ экспедиции на НИС «Малахит»

Дата	Мероприятия
12 сентября	Заезд на научную станцию на машине, установка оборудования на борту
13 сентября – 14 сентября	Проведение измерений на якоре в течение суток
14 сентября	Анализ результатов
15 сентября	Возвращение во Владивосток, измерения на участках маршрута (мыс Шульца – Владивосток)

Таблица 2.2.

План работ экспедиции на НИС «Импульс»

Дата	Мероприятия
27 сентября	Погрузка оборудования на борт судна, отплытие из Владивостока
27 сентября – 28 сентября	Проведение измерений на якоре в течение суток
28 сентября	Анализ результатов
29 сентября	Проведение дневных измерений в бухте Витязь
30 сентября	Анализ данных
1 октября – 2 октября	Проведение суточных измерений на якоре в зал. Посъет
2 октября	Анализ данных, возвращение во Владивосток

Одной из целей экспериментальных исследований является разработка методики выполнения измерений при помощи разработанного комплекса. На этапе планирования составлены следующие рекомендации:

1. Перед началом измерений погрузить зонд на глубину 1-2 метра, для достижения в измерительной камере условий, соответствующих параметрам среды.
2. Поднять зонд к поверхности воды на глубину «условного нуля».
3. Опустить зонд на необходимую глубину. При установлении зависимости концентрации и параметров фотосинтеза фитопланктона от глубины, проводить измерения с интервалами глубин не больше чем 5 метров.
4. Запустить программу измерения с компьютера, установленного в каюте судна.
5. Сохранить полученные данные, с указанием глубины, на которой проводился замер.
6. Приступить к следующему измерению.
7. При проведении измерений для установления суточной зависимости концентрации и параметров фотосинтеза фитопланктона, проводить измерения не реже чем одно измерение в час.
8. После окончания цикла изменений поднять флуориметр на палубу.

После каждого цикла измерений рекомендуется проводить предварительный анализ данных, для обнаружения возможных ошибок, особенностей распределения фитопланктона, наличия «артефактов» в полученных данных. При обнаружении ошибок или большого отклонения данных от прогнозируемых, сразу же повторить цикл измерений. Если при анализе выяснится, что существенные изменения в параметрах фитопланктона происходят на одной определенной глубине, допускается зафиксировать зонд на данной глубине и проводить измерения не реже чем одно измерение каждые 15 минут.

Для дальнейшей калибровки показаний разработанного флуорометра необходимо осуществлять синхронные измерения при помощи образцового прибора. В качестве образцового планируется использовать погружаемый зонд SBE19Plus (SeaBird, USA) с датчиком флуоресценции (Wet Labs). Алгоритм измерений при помощи SeaBird:

1. Погрузить зонд на глубину 5 метров и держать на данной глубине в течение 60 секунд, для промывки измерительной камеры и достижения в измерительной камере условий, соответствующих параметрам среды.
2. Поднять зонд на глубину 1 метр и держать в течение 20 секунд, для установления точки начала измерения.
3. Опускать зонд до предельной глубины измерений со скоростью не больше чем 1 м/с.
4. На предельной глубине измерений держать зонд в течение 20 секунд, для установления конечной точки измерений.
5. Поднять зонд до глубины 1 метр и держать в течение 10 секунд.
6. Поднять зонд на палубу судна.

Этапы, описанные в пунктах 2 и 4 очень важны для дальнейшей обработки данных, записанных SeaBird. Обработка проводится при помощи математического пакета MatLab и предназначена для представления данных записанных во время измерений в удобном для восприятия виде, для устранения ошибок и «артефактов» которые могут возникнуть при измерении.

Для проведения измерений в нескольких точках планируется сделать измерения на маршруте «мыс Шульца – Владивосток». Остановки и замеры будут проводиться каждые полчаса, при этом несколько измерений будет сделано в прибрежной зоне, вблизи островов, на территории заповедника и в открытом море, последняя точка планируется в районе острова Попова. По данным, полученным при этих измерениях, планируется сделать вывод состоянии фитопланктона в различных районах залива Посъета и Амурского залива.

Для испытаний мобильности и устойчивости к транспортировке флуорометра планируется осуществить доставку до станции «мыс Шульца» на машине. Необходимо оценить следующие параметры:

1. Уровень сложности при переноске оборудования в помещении, по лестничным пролетам.
2. Уровень сложности при погрузке в транспорт и при разгрузке.
3. Объем, занимаемый оборудованием при транспортировке.
4. Устойчивость к тряске, вибрациям.
5. Уровень сложности при погрузке на борт исследовательского судна.
6. Установка в каюте исследовательского судна.
7. Эргономичность при работе с установленным оборудованием.
8. Скорость погрузки, транспортировки, установки и демонтирования оборудования.

Для транспортировки планируется использовать машину «Isuzu Vighorn». Дорога к станции на 90% покрыта асфальтом, остальные 10% имеют грунтовое покрытие в плохом состоянии.

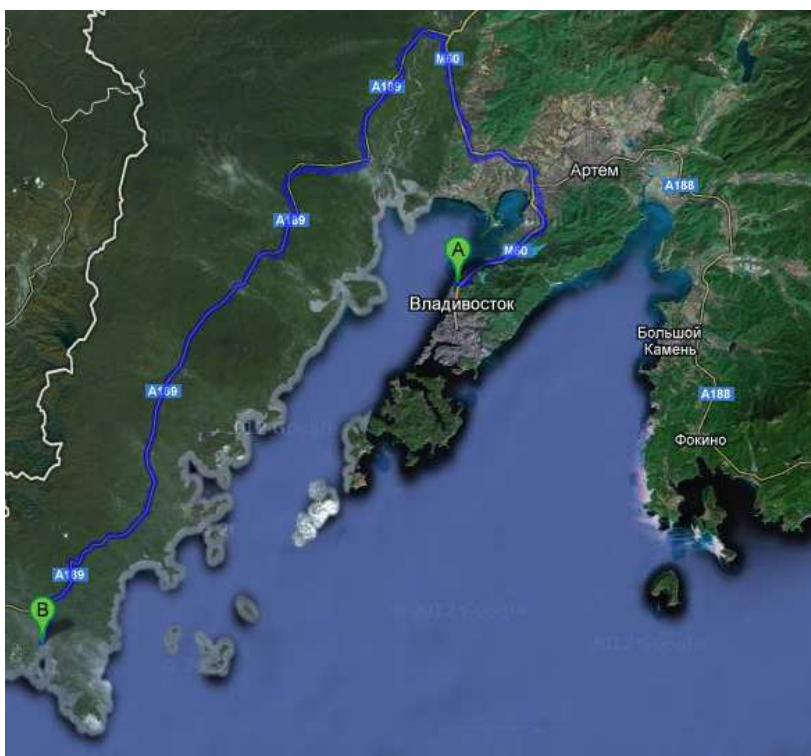


Рисунок 2.1. Маршрут перевозки измерительного комплекса

На рисунке 1 представлена карта, на которой виден путь, который необходимо пройти при транспортировке оборудования на станцию «мыс Шульца». При этом не указана малая часть пути, ведущая от поселка Андреевка непосредственно до самой станции.

Возможные недостатки конструкции могут быть выявлены при транспортировке и эксплуатации комплекса. По возможности недостатки необходимо устранять на месте. Для этого для проведения морских испытаний группа исследователей будет экипирована набором инструментов и измерительными приборами. После внесения изменений оборудование должно вновь тестироваться с целью определения параметров после устранения недостатков. В случае необходимости серьезной модернизации конструкции, оборудование будет отправлено обратно в лабораторию, для исправления и доработки.

После завершения программы экспериментальных исследований должен быть составлен подробный отчет о проделанной работе, собранных данных и внесенных изменениях в конструкцию и методику работы с измерительным комплексом.

2.2 Морские испытания измерительного комплекса

Разработанный в рамках контракта аппаратный комплекс оперативного гидрологического и экологического мониторинга морских акваторий предназначен для оперативной оценки состояния деятельного слоя океана методами оптического, акустического и гидрологического зондирования. В его состав входят следующие измерительные блоки:

1. Блок акустической локации.
2. Блок лазерной локации.
3. Блок флуоресцентного зондирования и анализа морской воды.
4. Блок гидрологического зондирования.
5. Блок видеоконтроля состояния морской поверхности.

Весь аппаратный комплекс выполнен в мобильном исполнении, что позволяет использовать его в морских экспедиционных условиях на малотоннажных судах и в условиях прибрежных экспедиций в режиме мониторинга.

Экспедиционные работы выполнялись на НИС «Импульс» в период с 13 по 15 сентября и с 27 по 30 сентября 2012 года. Измерения выполнялись в ходе выполнения суточных станций в бухтах залива Посьета и на переходе мыс Шульца – Владивосток в соответствии с планом проведения морских испытаний.

На рисунках 2.2 и 2.3 представлены карты с отмеченными точками, в которых были выполнены измерения. В первой экспедиции были выполнены измерения во время суточной станции и на маршруте движения судна «мыс Шульца – Владивосток» в семи точках (рисунок 1). Во время второй экспедиции (рисунок 2) была сделана серия измерений в бухте Витязь, и суточные измерения вне бухты. Измерения во время стоянки судна выполнялись на нескольких

горизонтах: 0.5 м, 2.5 м, 5 м, 7.5 м, 10 м, 12.5 м, 15 м, 17.5 м и 20 м. При выполнении суточных станций измерения выполнялись с периодичностью 1 раз каждый час в заданной точке на указанных выше горизонтах. Измерения вдоль маршрута судна выполнялись каждые 10-15 км.

Таблица 2.3

Координаты точек измерений

№ рис.	Номер точки	Широта	Долгота	Дата
2.2	1	N42°32'41,04"	E131°07'18,57"	13.09.2012
-/-	2	N42°31'53,68"	E131°15'00,82"	15.09.2012
-/-	3	N42°35'17,60"	E131°18'33,40"	-/-
-/-	4	N42°37'19,51"	E131°21'01,72"	-/-
-/-	5	N42°40'30,41"	E131°23'22,62"	-/-
-/-	6	N42°44'02,94"	E131°26'08,24"	-/-
-/-	7	N42°46'42,66"	E131°29'30,94"	-/-
-/-	8	N42°49'40,40"	E131°32'43,75"	-/-
2.3	1	N42°35'32,20"	E131°09'30,75"	27.09.2012
-/-	2	N42°33'00,66"	E131°09'46,20"	29.09.2012

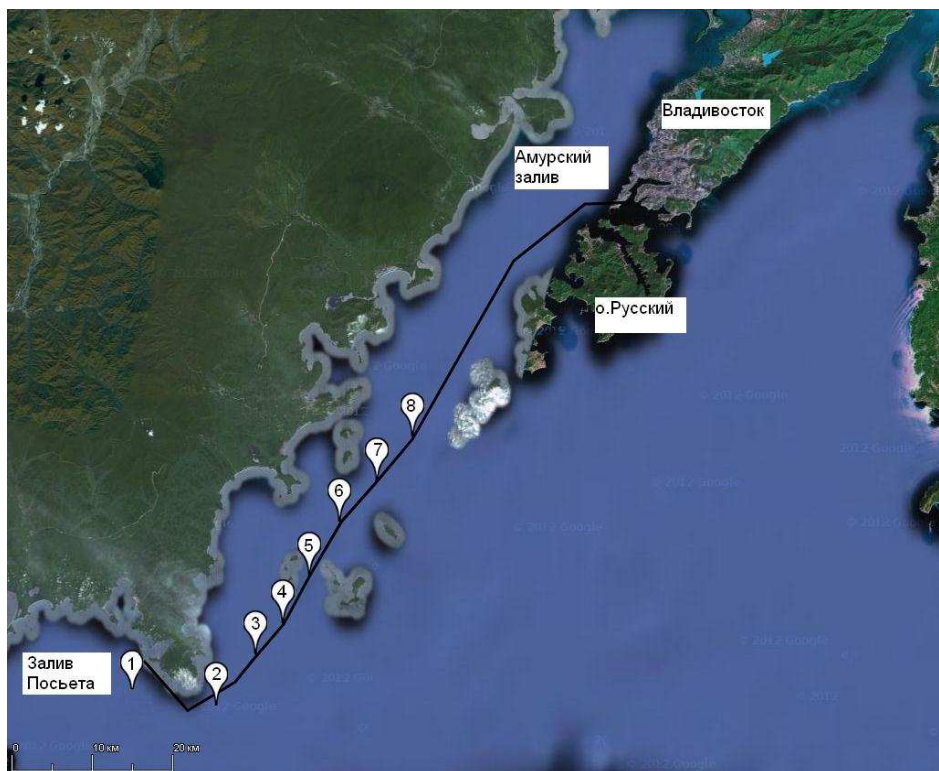


Рисунок 2,2. Маршрут первой экспедиции
1 – суточная станция 13.09.2012, 2-8 – измерения на маршруте 15.09.2012.

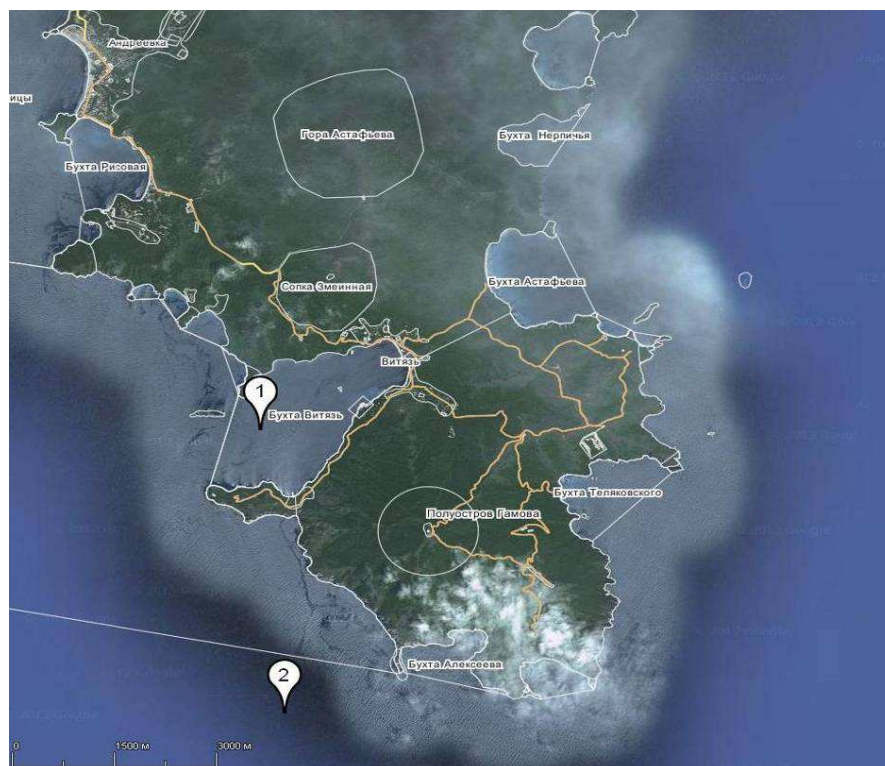


Рисунок 2.3. Маршрут второй экспедиции

1 – суточная станция, серия измерений в бухте Витязь 27.09.2012, 2 – суточная станция в прибрежной зоне 29.09.2012.

Во время измерений был отработан алгоритм, составленный во время планирования экспериментальных измерений. Измерения выполнялись на нескольких горизонтах: 0.5 м, 2.5 м, 5 м, 7.5 м, 10 м, 12.5 м, 15 м, 17.5 м и 20 м. При выполнении суточных станций измерения выполнялись с периодичностью 1 раз каждый час в заданной точке на указанных выше горизонтах.

Измерения вдоль маршрута судна выполнялись с помощью гидролидара и эхолота. Каждые 30 минут делалась остановка и выполнялись измерения с помощью флуориметра. Погружаемый модуль с волоконно-оптическим датчиком флуоресценции погружался в воду с борта судна. Данные с флуориметра сохранялись на жесткий диск компьютера, для дальнейшего анализа.

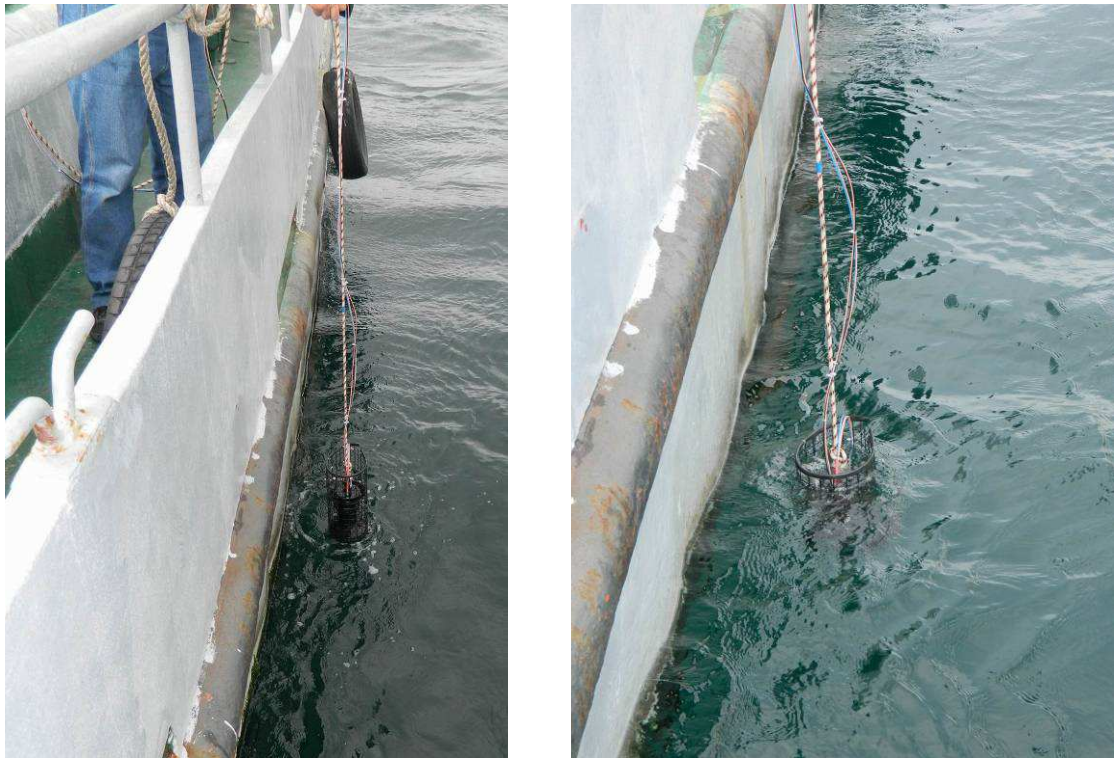


Рисунок 2.4. Спуск погружаемого модуля

Параллельно выполнялись измерения с помощью погружаемого зонда SBE19Plus (SeaBird, USA) с датчиками флуоресценции (Wet Labs). SeaBird можно опускать и поднимать при помощи судовой лебедки или в ручную. После осуществления цикла измерений данные с SeaBird переписывались на ноутбук для дальнейшей обработки на берегу.



Рисунок 2.5. Зонд SBE19Plus

2.2.1Блок флуоресцентного зондирования и анализа морской воды

Двухчастотный лазерный флуориметр (ДФ) создавался для исследования содержащихся в воде пигментов фитопланктона и РОВ по спектрам ЛИФ воды в диапазоне от 380 до 760 нм. В комплексе с другими приборами он обеспечивает изучение влияния природных и

антропогенных факторов на развитие фитопланктонных сообществ – основы кормовой цепочки океана.

Вторая гармоника 532 нм возбуждает флуоресценцию Хлорофилла а фитопланктона в основном через фотоантенну фотосинтетической ячейки, сам Хлорофилла а в этой области поглощает слабо. При таком возбуждении основной вклад в его флуоресценцию вносят живые клетки фитопланктона, как показано на рисунке 2.6 а, линия интенсивности флуоресценции (ИФ) 3. Близкое расположения линии КР воды, линия ИФ 2 рисунок 2.6 а, к флуоресценции Хлорофилла а позволяет использовать её в качестве репера, оптические свойства воды меняются слабо в области этих линий в широком диапазоне внешних условий, что особенно удобно при расчёте абсолютных значений концентраций Хлорофилла а.

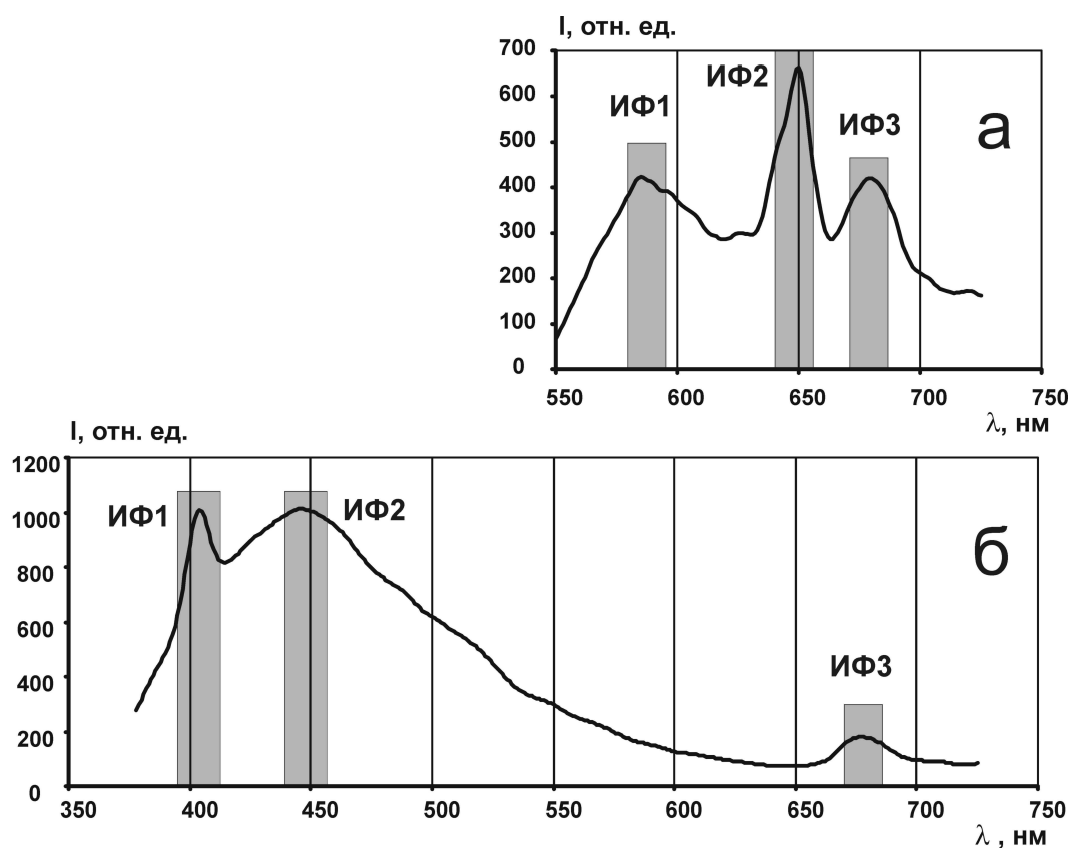


Рисунок 2.6 ЛИФ спектры морской воды.

а - при возбуждении второй гармоникой Nd:YAG лазера 532 нм; б - при возбуждении третьей гармоникой 355 нм

Однако линия КР перекрывает область, где высвечиваются другие, слабо флуоресцирующие пигменты фитопланктона. При таком возбуждении не доступны для исследования те пигменты, чьи линии флуоресценции лежат в области короче 560 нм.

Вторая гармоника 532 нм возбуждает широкополосную флуоресценцию РОВ в основном связанного с жизнедеятельностью фитопланктона или загрязнениями ароматическими и др.

углеводородами, максимум в области ИФ 1 рисунок 2.6 обусловлен оптическими свойствами обрезаящего светофильтра, позиция 5 рисунок 2.7.

Третья гармоника 355 нм возбуждает флуоресценцию пигментов фитопланктона менее эффективно, но ширина спектра значительно шире, Рисунок 2.6. Это позволяет регистрировать большее число пигментов фитопланктона, а при больших концентрациях и слабо флуоресцирующие пигменты, что предоставляет возможность регистрировать смену видового состава, изучать стадии развития популяций и оценивать другие характеристики фитопланктона.

Оптическая схема ДЛФ представлена на рис. 2.7, а общий вид с оптоволоконным зондом – на рисунке 2.8. Оптическая схема оптоволоконного зонда представлена на рисунке 2.9

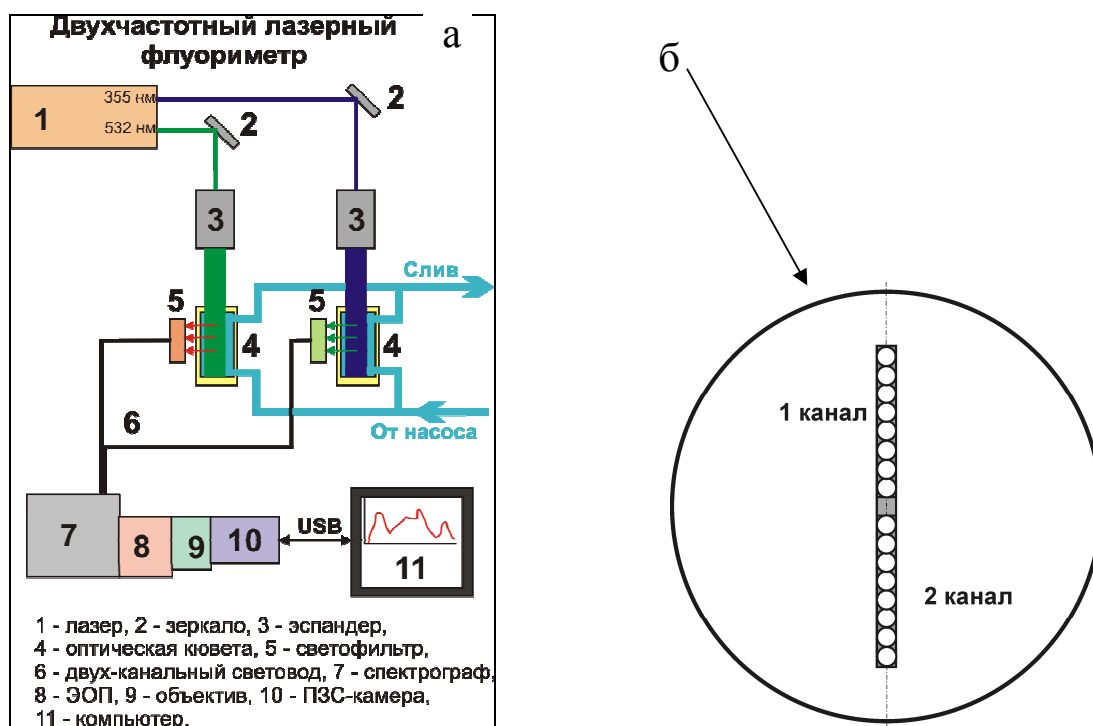


Рисунок 2.7 Конструктивные особенности прокачиваемого флуориметра

а – схема ДЛФ; б – укладка оптоволоконна

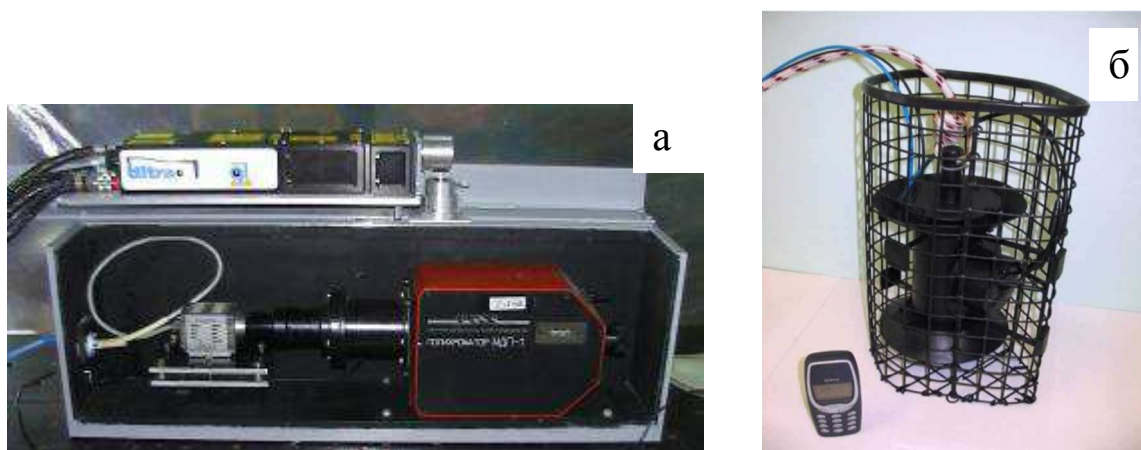


Рисунок 2.8 Разработанное оборудование для спектрального анализа
А - прокачиваемый ЛИФ спектрометр; б – оптоволоконный зонд.

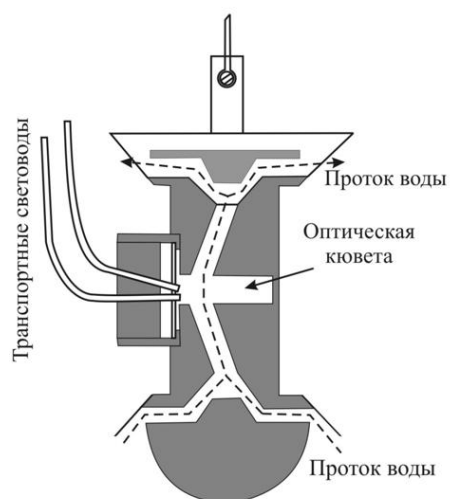


Рисунок 2.9 Оптическая схема оптоволоконного зонда

Отличительной чертой разработанного флуориметра является то, что измерительный и излучающий модуль, содержащий наиболее дорогостоящие элементы, является общим для проточного и погружного варианта и всегда находится на борту судна. Это позволяет с одной стороны – снизить стоимость комплекса, с другой – обеспечить необходимые эксплуатационные режимы излучателя и блока регистрации.



Рисунок 2.10 Вид системы забора морской воды, прокачиваемой через флуориметр

В режиме работы на станциях, для измерения вертикального профиля концентрации хлорофилла а к базовому модулю через оптические разъемы подсоединяются оптические волокна глубоководной измерительной ячейки – оптоволоконного зонда, благодаря которому осуществляется измерение вертикального профиля распределения хлорофилла а.

Оптоволоконный зонд представляет собой металлическую конструкцию, в которой обеспечивается протекание воды через оптическую кювету при опускании и подъеме модуля. Защита светочувствительной приёмной части от прямого и рассеянного солнечного света, осуществляется за счет многократного отражения лучей от элементов конструкции, имеющих специальное поглощающее свет покрытие.

Оптоволоконный датчик представляет собой два оптических волокна, расположенных под углом 26 градусов друг к другу. Расстояние между торцами волокон составляет 4 мм. Для уменьшения проникновения излучения лазера волокна в датчике разделены металлической перегородкой. Для передачи сигнала флуоресценции используется оптоволоконный кабель с диаметром кварцевой сердцевины 600 мкм. Кварцевое волокно имеет гладкую АЧХ при небольших потерях (< 3 дБ/км) и неравномерность АЧХ не более 10 дБ. Кварцевое волокно покрыто алюминиевой оболочкой.

Металлический корпус выполнен из стойкой к коррозии морской бронзы марки БрАЖНМц 9-4-4-1. Для защиты от обрастания, корпус окрашен специальной краской. Вес погружаемого модуля составляет 3,5 кг, что позволяет производить измерения без использования специальных средств для его опускания и подъёма. Размеры погружаемого модуля составляют: диаметр – 140 мм, длина – 270 мм.

Обычно при маршрутном промере биооптических характеристик морской воды измерительный и излучательный модули ДЛФ располагаются в одной из кают судна и защищены от неблагоприятных метеоусловий. Однако не на всех типах маломерных и малотоннажных судов это требование может быть выполнено. С целью расширения условий эксплуатации ДЛФ на четвертом этапе выполнения контракта был разработан и создан специальный герметичный контейнер внешними разъемами для протока воды и коммуникационными разъемами для подключения оптоволоконного зонда и передачи информации на внешний компьютер.

Блок-схема мобильного модуля ДЛФ и его фотография приведены на рисунке 2.11, а фотография его расположения на четырехместной лодке приведена на рисунке 2.12.

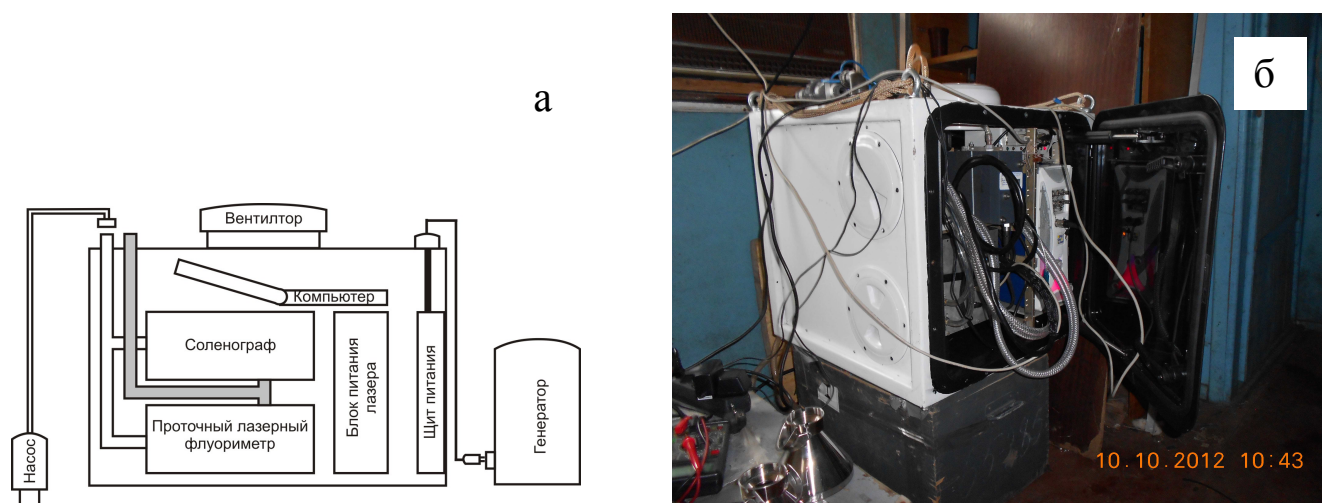


Рисунок 2.11 Мобильный модуль ДЛФ.

А – блок-схема ДЛФ; б – фотография собранного устройства



Рисунок 2.12 Расположение мобильного модуля ДЛФ на борту четырехместной моторной лодки.

Поскольку для задач оценки биопродуктивности морских вод важно знать не только концентрация фитопланктона, но и такие характеристики клеток фитопланктона, как фотосинтетическую активность клеток, то на последних двух этапах выполнения контракта были разработаны и созданы два варианта светодиодного флуориметра для оценки фотосинтетической активности клеток фитопланктона. Один из флуориметров предназначен для работы в проточной воде совместно с ДЛФ в процессе маршрутного промера, а другой – для профилирования верхнего слоя океана в режиме дрейфа судна. Во втором случае измерительный модуль флуориметра подсоединяется к погружаемому оптоволоконному зонду. Алгоритм определения параметров фотосинтеза фитопланктона по характеристикам флуоресцентного отклика основан на методике приведенной в [6].

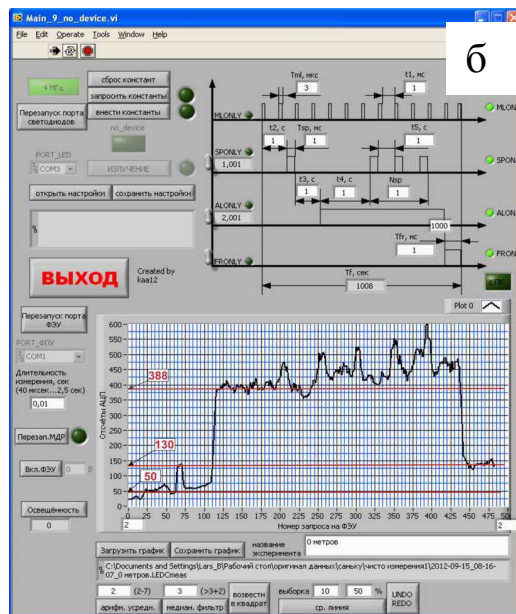
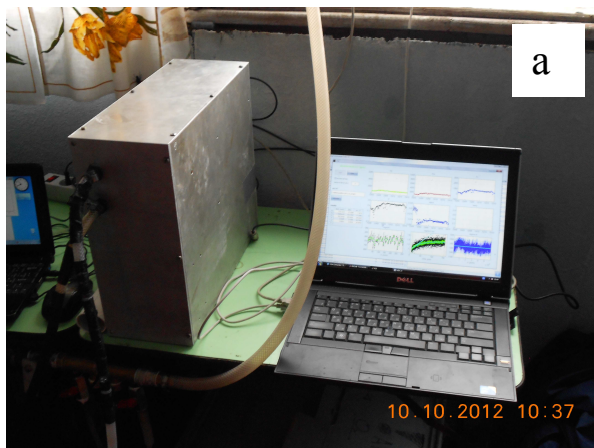


Рисунок 2.13 Система для измерения параметров фотосинтеза фитопланктона
 а – внешний вид проточного флуориметра; б – интерфейс программы управления.

Комплект оборудования для измерения концентрации и параметров флуоресценции фитопланктона состоял из персонального компьютера, монитора, источника возбуждающего излучения, измерителя флуоресценции и погружаемого зонда с оптоволоконным кабелем. Кроме того, в экспедицию были взяты: набор инструментов, крепежные материалы, измерительное оборудование. Все перечисленное было упаковано в два деревянных ящика и две картонные коробки, которые было легко переносить и грузить в машине, тара была оснащена уплотнителями. Можно сделать вывод, что с транспортировкой и погрузкой/разгрузкой легко могут справиться два человека. При транспортировке оборудования в машине на станцию «мыс Шульца» не возникло никаких осложнений, уплотнители предохраняли аппаратуру от тряски. Погрузка на борт исследовательского судна так же может осуществляться двумя сотрудниками, при этом погрузка осуществлялась как с борта судна, так и с носовой части. Электронно-оптическое оборудование было размещено в каюте судна, как показано на рисунке 2.14. Через иллюминатор был проведён оптоволоконный кабель-трос с погружаемым модулем.

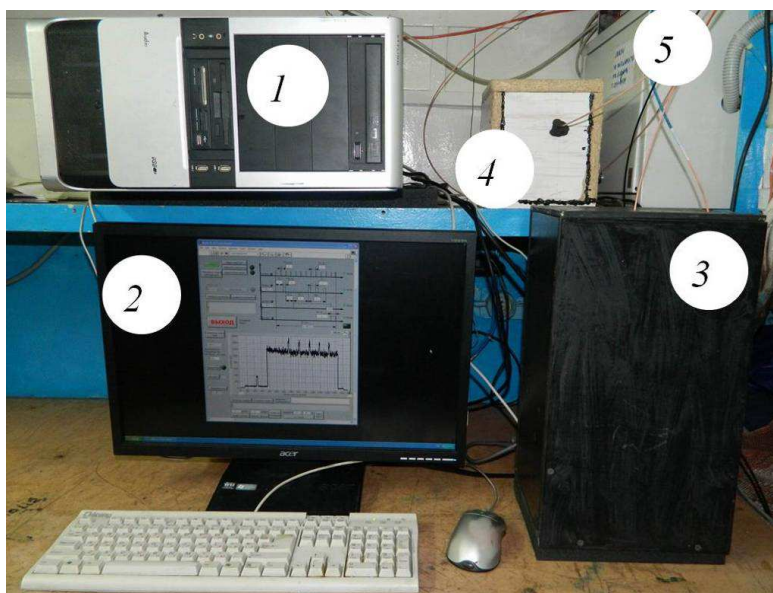


Рисунок 2.14. Расположение оборудования в каюте судна
 1- персональный компьютер, 2- монитор, 3- источник возбуждающего излучения, 4- приёмник флуоресцентного излучения, 5- оптические волокна кабель-троса.



Рисунок 2.15. Погружаемый измерительный модуль и оптоволоконный кабель-трос

2.2.2 Блок лазерной локации

Для выполнения исследования оптических параметров светорассеивания морской среды с разрешением по глубине на ходу судна была разработана лидарная система с погружаемым иллюминатором, который устанавливается в оптическую шахту. Вид лидара с оптической шахтой приведен на рисунке 2.16, а его оптическая схема – на рисунке 2.17. Приёмник и излучатель лидара монтируются на одной плите с рёбрами жесткости, что обеспечивает сохранение параметров взаимной юстировки оптических осей после установки в шахту.

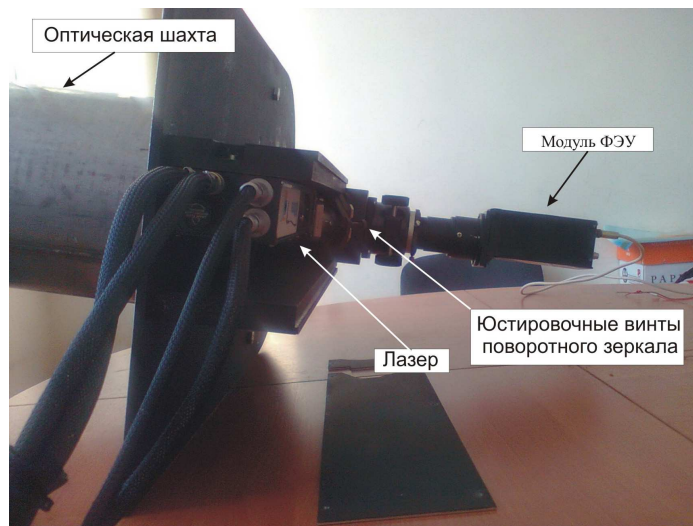


Рисунок 2.16 Общий вид лидара

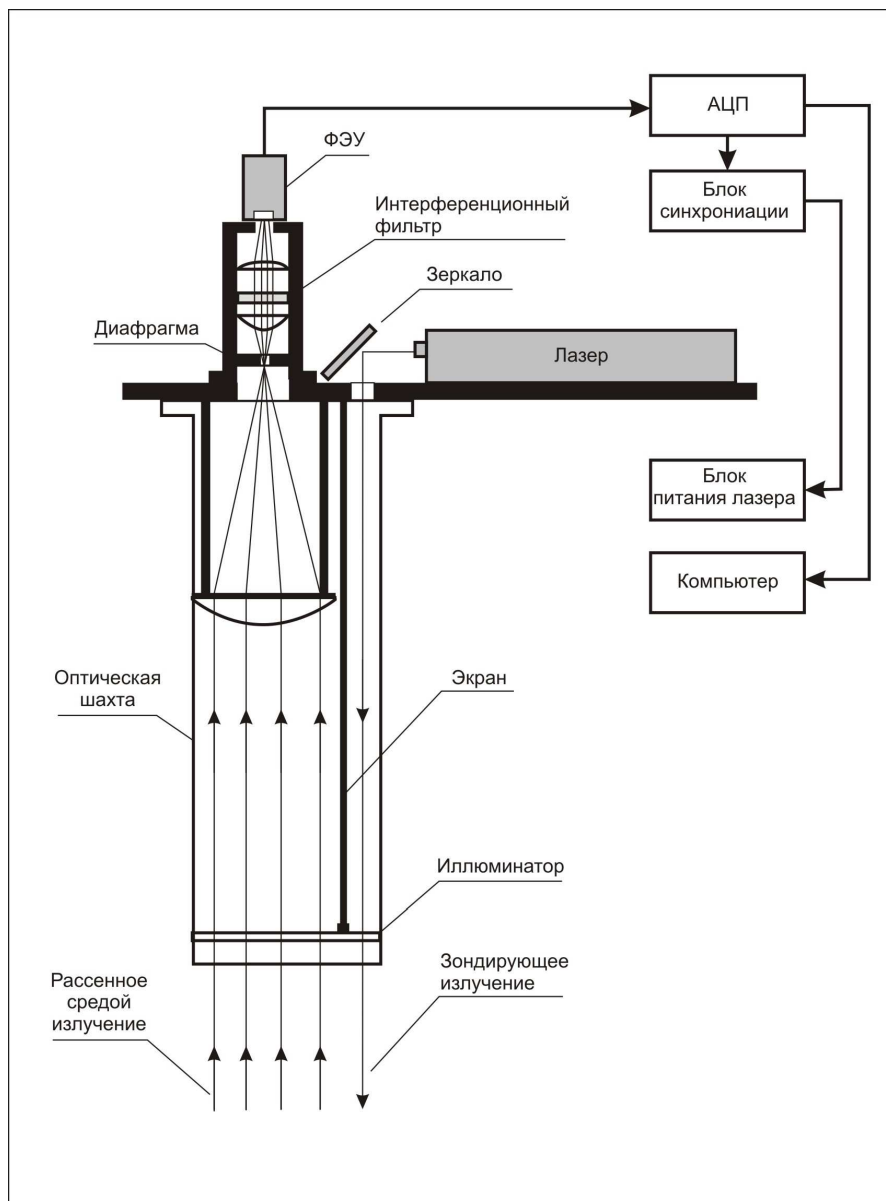


Рисунок 2.17 Оптическая схема лидара

Поскольку в процессе ремонтных работ на парусной яхте «Олимп» возникли проблемы с установкой двигателя, которые поставили под угрозу выполнение технического задания контракта, то для проведения экспериментальных работ по лидарному зондированию было принято решение использовать акустическую шахту НИС «Галс». Шахта по своим размерам позволила установить лидарную систему при не существенной доработке системы крепления. Единственный недостаток использования шахты НИС «Галс» заключался в том, что ее вертикальные размеры не позволяли установить лидар таким образом, чтобы предотвратить появления воздушных пузырей на большом ходу судна в области оптического иллюминатора. На рисунке 2.18 представлен рабочий фрагмент зондирования на ходу судна «Галс», принадлежащего Морскому государственному университету им. адм. Г.И. Невельского.



Рисунок 2.18. Процесс лидарного зондирования верхнего слоя океана.

2.2.3 Блок акустической локации

Метод измерения коэффициентов рассеяния звука в приповерхностном слое моря основывается на остронаправленном излучении звука, приеме сигналов обратного рассеяния звука, вводу, записи и первичной обработке акустической информации на персональных компьютерах. Метод прошел многолетнюю апробацию в экспедиционных условиях, его основные черты отражены в [1-5]. Обработка сигналов рассеяния звука с целью визуализации пространственных структур проводится с применением специально разработанных программ

SCATTER (автор Соседко С.Н.), AVIEWER (автор Демичев Д.А.), BinaryAcoustics (авторы Боровой Д.И., Стороженко А.В.).

Для проведения акустических измерений рассеивающих слоев и течений в толще морской среды применяется акустический профилограф течений ADP фирмы SONTEC (США), который позволяет изучать рассеяние звука на частоте 250 кГц. Основные характеристики ADP: три акустических преобразователя с ориентацией 25° от вертикальной оси одинаково расположены под углом 120° относительно азимута. Давление акустического сигнала $P \sim 10^5$ Па, диаграмма направленности $\theta \sim 2^\circ$, длительность импульса $\tau = 1.4$ мс. Диапазон профилирования 150-220 м с максимальным разрешением 1.5-2 м. ADP включает датчик температуры, давления и поддерживает последовательный коммуникационный протокол. Используется также дополнительная акустическая система измерения рассеяния звука на других частотах. Очень удобным излучателем является мощный излучатель FURUNO с частотой накачки 200 кГц, который способен поддержать излучение при электрической нагрузке на резонансе $W \sim 2$ кВт.

Используются также акустические излучатели с другими частотами 200 кГц, 150 кГц и 50 кГц, которые могут крепиться на носу и по борту судна на глубине около 1.3 м.

Навигационная система на базе прибора GPSMAP-130 обеспечивает привязку временного распределения данных по рассеянию на измеряемых трассах к географическим координатам.

2.2.4 Блок видеоконтроля состояния морской поверхности

Применение цифровой обработки изображений к временной последовательности панорамных изображений морской поверхности с привязкой к географической системе координат позволяет оценить положение и размеры изучаемых объектов, и их динамические характеристики. Это скорость перемещения органической пленки и изменения ее площади (нефтяные разливы), фазовая скорость распространения внутренних волн, скорость перемещения морского вихря как целого и структура поля скоростей внутри тела вихря [7-11]. Кроме того, на множестве изображений отчетливо проявляются турбулентно возмущенные ветром и перемещающиеся со скоростью ветра области морской поверхности – так называемые “кошачьи лапки”. По направлению и скорости их перемещения можно получить оценку поля ветра в приводном слое атмосферы и составить прогноз распространения загрязняющих морскую поверхность органических пленок. На рисунке 2.19 приведены фотографии поляризованной видеосистемы, а на рисунке 2.20 - примеры регистрации вихрей, поля ветра и внутренних волн видеосистемой, установленной на морской экспериментальной станции ТОИ ДВО РАН в бухте Витязь Японского моря.



Рис. 2.19. Внешний вид видеосистемы и ее расположение на морской экспериментальной базе ТОИ в бухте Витязь (размер стороны панели 22 см; высота расположения видеосистемы на вышке 92 м над уровнем моря).

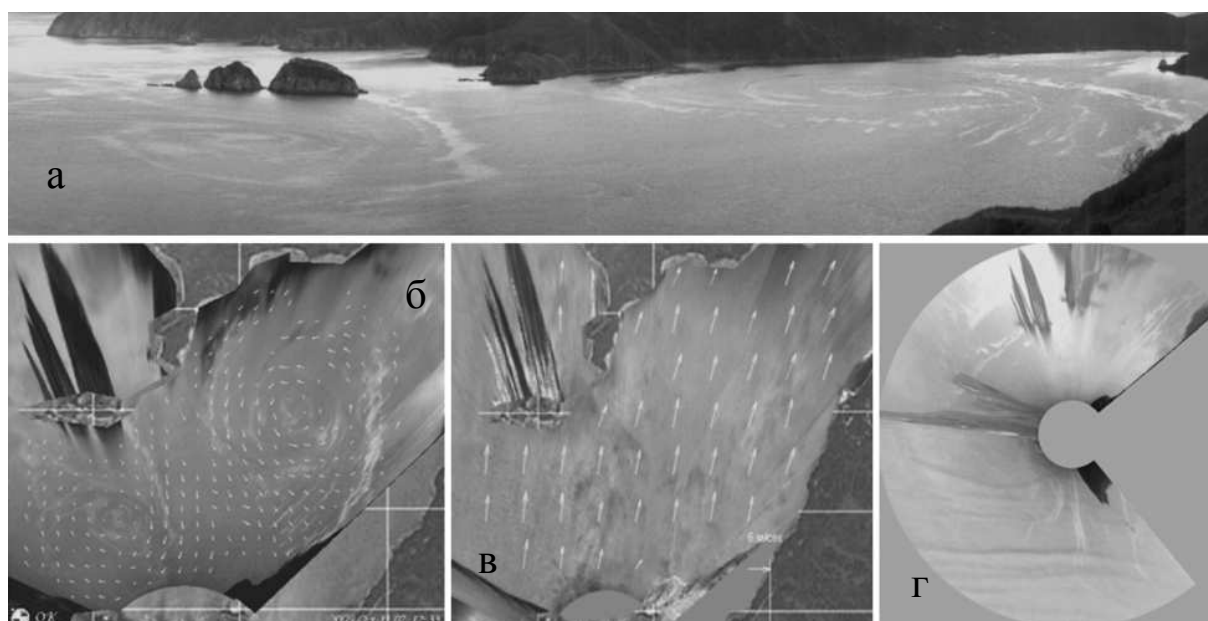


Рис. 2.20 Пример мониторинга акватории при помощи разработанной видеосистемы
а – фрагмент панорамы акватории бухты Витязь; б – трансформированные изображения: микромасштабные вихри; в – скорость и направление ветра; г – поверхностные проявления внутренних волн.

Видеосистема контроля состояния морской поверхности как составная часть аппаратного комплекс оперативного гидрологического и экологического мониторинга морских акваторий является важным инструментом не только регистрации гидродинамических процессов в верхнем слое океана и определения их характеристик, но и прекрасным средством наведения научных судов на изучаемые объекты.

2.3 Калибровка измерительного комплекса

Разработанный измерительный комплекс предназначен, прежде всего, для выявления локальных отклонений в концентрации фитопланктона по глубине в различных местах контролируемой акватории. Относительные измерения выполняются с помощью высокочастотного эхолота и гидролидара. Измерения, выполненные этими приборами, позволяют надежно определять области резкого изменения глубины нахождения или концентрации фитопланктона и сопутствующего ему зоопланктона. Таким образом, выявляются проблемные области подверженные внешним воздействиям природного или техногенного характера. Выполнение указанных измерений не преследует цель определения численного значения концентрации фитопланктона.

Детальное исследование проблемных областей акватории выполняется с помощью погружаемого флуориметра, с помощью которого выполняется измерение концентрации хлорофилла А и температуры воды на различных глубинах, диапазон которых предварительно выбирается по измерениям, выполненным эхолотом и гидролидаром. Концентрация хлорофилла А определяется косвенным образом по уровню сигнала флуоресценции воспринимаемого фотоприемником. Такой способ измерений концентрации требует выполнения калибровки измерительного прибора. В лабораторных условиях калибровка может быть выполнена, например, с использованием методики изложенной в ГОСТ 17.1.4.-90. Эта методика весьма трудоемка и дорогостоящая, поэтому ее применения целесообразно при проведении аттестации и сертификации измерителей. На настоящем этапе НИР калибровка выполнялась с помощью датчика компании WetLabs (США) - прибора, получившего признание и широкое распространение у исследователей, выполняющих измерение содержания хлорофилла А в морской воде. Калибровка основана на сравнении результатов, полученных с помощью разработанного ИПФ, с показаниями, полученными с помощью датчика WetLabs. Методика калибровки разработана применительно к условиям реальных морских экспедиций.

Для выполнения калибровки выбирается группа измерений, где имеются существенные изменения значений концентрации хлорофилла *a* по глубине. Рекомендуется использовать не менее пяти географических точек, в которых выполнены измерения. Возможно выполнение замеров в меньшем количестве точек или даже в одной, при условии их выполнения с промежутками не менее 30 минут. В каждой географической точке должно быть выбрано восемь - десять значений глубин, где производятся измерения.

Первый этап калибровки – приведение измерений, выполненных с помощью ИПФ в единый диапазон с данными датчика WetLabs. Измерения концентрации хлорофилла *a* с

помощью ИПФ корректируются в соответствии с формулой (2.1), поскольку исходные данные имеют размерность отсчётов АЦП:

$$C_i^{\prime} = C_i \cdot 10^{-3}, \quad (2.1)$$

где C_i – исходные данные о концентрации, полученные с помощью ОВФ;
 C_i^{\prime} – данные ОВФ приведённые в единый диапазон с данными WetLabs.

Уточнение абсолютного значения концентрации C_i для ОВФ выполняется путём изменения данных на величину поправочного коэффициента k :

$$C_i^{\prime\prime} = C_i^{\prime} + k, \quad (2.2)$$

Показания датчика WetLabs C_j принимаются в качестве калиброванных данных. Относительная погрешность измерения с помощью ИПФ на заданной глубине находится по формуле:

$$\left(\frac{\Delta C}{C}\right)_i = \frac{|C_i^{\prime\prime} - C_j|}{C_j}, \quad (2.3)$$

Относительная погрешность всего вертикального профиля распределения концентрации хлорофилла a оценивается с помощью оценочной функции (2.4), которая минимизируется, путем подбора значения поправочного коэффициента k в (2.2):

$$f = \frac{1}{n} \sum_i^n \left(\frac{\Delta C}{C}\right)_i \rightarrow \min, \quad (2.4)$$

где n – число точек измерений в профиле.

Подставляя в (2.4) выражения (2.3) и (2.2), получим:

$$f(k) = \frac{1}{n} \sum_j \frac{|(C_i \cdot 10^{-3} + k) - C_j|}{C_j}. \quad (2.5)$$

Поиск минимального f производится путём подбора величины k в (2.5). Для разных профилей измерений значение k будет различно. Выбор оптимального значения k выполняется путем вычисления усредненной погрешности F для всех измерений по формуле:

$$F = \frac{1}{m} \sum_l^m f_l \rightarrow \min, \quad (2.6)$$

где m - количество вертикальных профилей (станций), в которых выполнялись измерения концентрации хлорофилла a .

Калибровка измерителя концентрации хлорофилла А во время экспедиции 27.09.2012 – 30.09.2012.

Калибровка ИПФ выполнялась в соответствии с методикой изложенной выше.

Поскольку результаты измерений концентрации хлорофилла a с помощью датчика WetLabs дублируются, за счёт измерений при спуске и подъёме, как это показано на рисунке 2.21, результаты дублированных измерений усредняются.

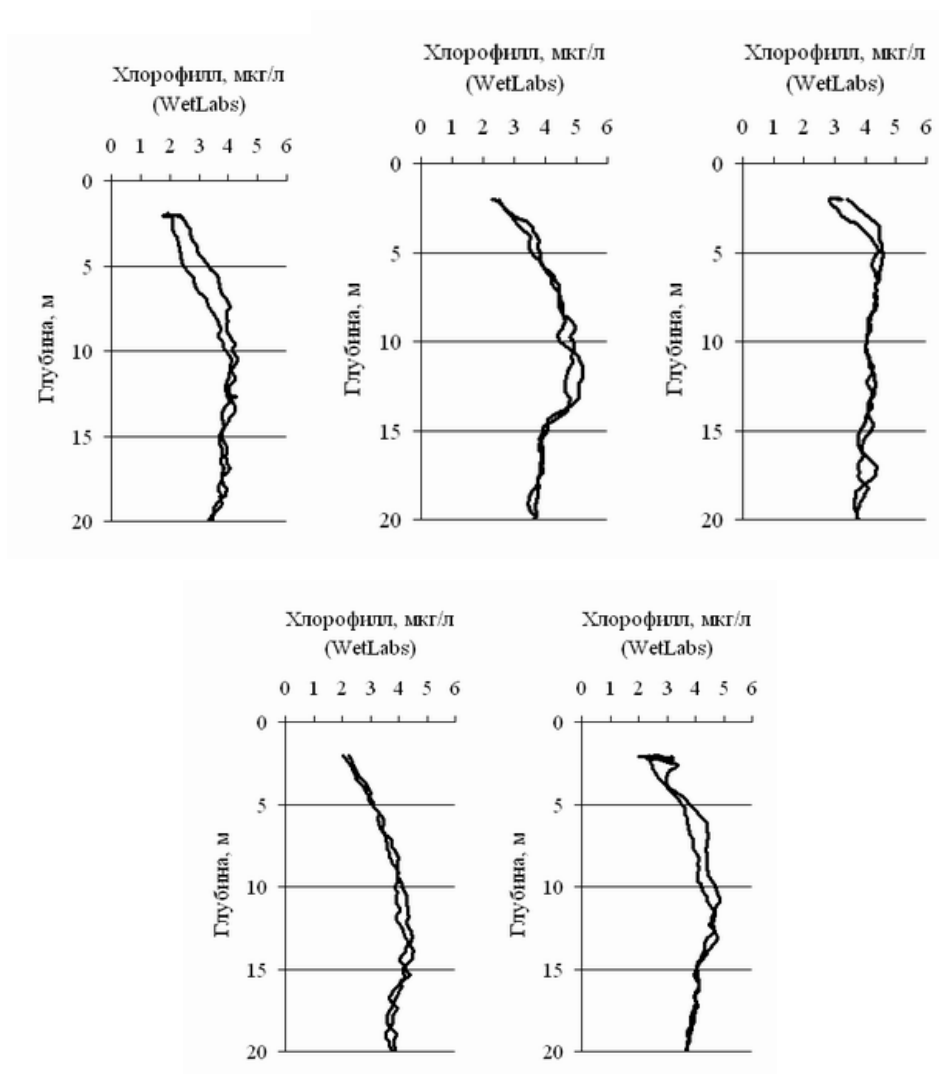


Рисунок 2.21 Результаты измерения концентрации хлорофилла a (WetLabs).

Результаты измерения концентрации хлорофилла А показаны в виде графиков на рисунке 2.22. Вычисленные для каждого из пяти профилей средние значения относительной погрешности, вычисленные при разных значения поправочного коэффициента k , сведены в таблицу 2.4.

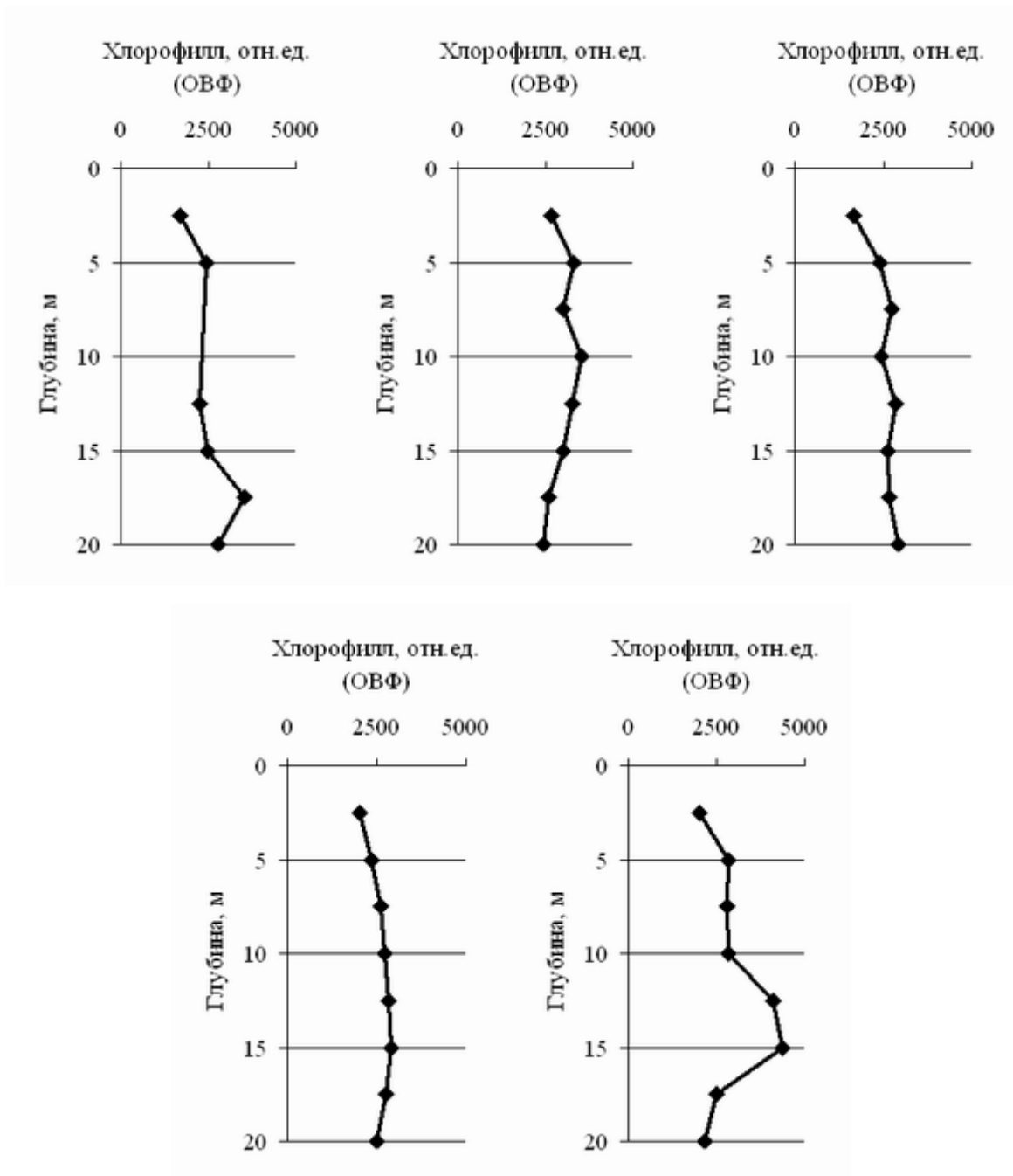


Рисунок 2.22 Результаты измерения концентрации хлорофилла А с помощью ИПФ

Таблица 2.4

Выбор оптимального значения поправочного коэффициента k .

k	$f1$	$f2$	$f3$	$f4$	$f5$	F
-2	0,863	0,755	0,870	0,849	0,771	0,821
-1	0,548	0,494	0,615	0,564	0,493	0,543
-0,5	0,391	0,364	0,488	0,422	0,355	0,404
0	0,234	0,234	0,360	0,280	0,233	0,268
0,5	0,104	0,158	0,233	0,153	0,154	0,160

0,75	0,125	0,129	0,169	0,106	0,139	0,133
1	0,147	0,101	0,118	0,078	0,134	0,115
1,25	0,162	0,085	0,080	0,076	0,133	0,107
1,5	0,193	0,118	0,060	0,116	0,150	0,127
2	0,264	0,207	0,125	0,212	0,233	0,208
3	0,398	0,340	0,283	0,353	0,364	0,348
4	0,491	0,435	0,393	0,451	0,457	0,445

Поиск оптимального значения k выполнялся в диапазоне [-2;4].

В таблице 2.4. показано, что усредненная погрешность измерений принимает минимальное значение $F=0,107$ при поправочном коэффициенте $k=1,25$, при котором усредненная погрешность измерения концентрации хлорофилла a меняется от 7,6 % до 16,2 %, а среднее значение погрешности составляет 10.7 %.

2.4 Выводы по разделу

В ходе экспедиции был успешно испытан комплекс для измерения параметров фотосинтеза фитопланктона. Была выполнена калибровка флуориметра при совместных измерениях с датчиком флуоресценции WetLabs (США).

Выполненные экспедиционные работы показали работоспособность, практичность и возможность применения волоконно-оптических систем и датчиков для выполнения экологического мониторинга и измерения концентрации фитопланктона флуоресцентным методом.

При экспериментальных измерениях были выявлены следующие недостатки измерительного комплекса:

1. Необходимость уменьшения шумов в тракте усиления сигнала флуоресценции.
2. Необходимость тонкой настройки источников света при помощи дополнительной измерительной аппаратуры после установки оборудования на борту.

Преимущества разработанного комплекса:

1. Отображение результатов непосредственно при выполнении измерений.
2. Возможность смены источников света и приемников флуоресцентного излучения.
3. Удобство эксплуатации, транспортировки и развертывания.

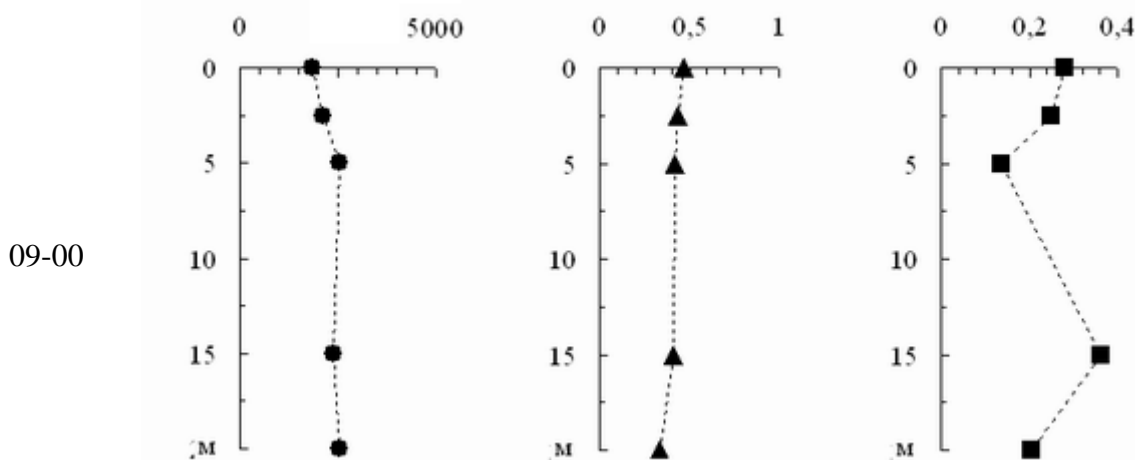
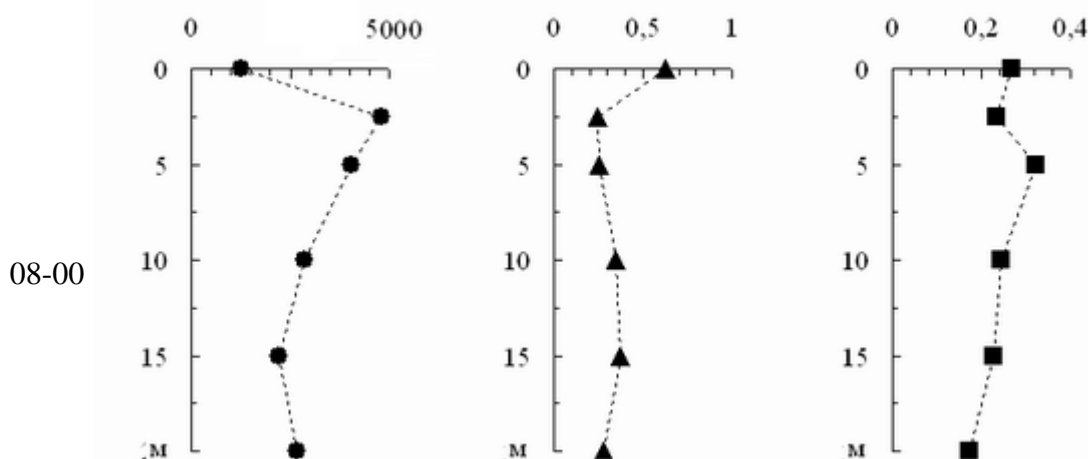
Литература к разделу 2.

1. Акуличев В.А., Буланов В.А. "Исследования неоднородностей морской среды методами акустического зондирования" / В кн. Дальневосточные моря России: в 4 кн./ Гл.ред. акад. В.А. Акуличев. Кн.4. Физические методы исследования/ отв.ред. Г.И.Долгих. –М.: Наука 2007, с.129-231.
2. Акуличев В.А., Буланов В.А., Кленин С.А. Акустическое зондирование газовых пузырьков в морской среде // Акуст.ж. 1986,Т.32, Вып.3. С.289-295.
3. Буланов В.А. Введение в акустическую спектроскопию микронеоднородных жидкостей. Владивосток: Дальнаука. 2001. 280 с/
4. V.A. Akulichev, V.A. Bulanov. Measurements of bubbles in sea water by nonstationary sound scattering // J. Acoust. Soc. Am. 2011. Vol.130, No5, pt.2, pp.3438-3449.
5. В.А. Буланов, И.В. Корсков "Система многочастотного акустического зондирования с временным разделением частот" // Приборы и техника эксперимента". 2009. №3, с.120-122.
6. Рубин А.Б., Погосян С.И., Маторин Д.Н., Казимирко Ю.В., Ризниченко Г.Ю. Патент на изобретение № 2354958 «Способ флуориметрического определения параметров фотосинтеза фотоавтотрофных организмов, устройство для его осуществления и измерительная камера».
7. Кульчин Ю.Н., Букин О.А и др. Комплексный контроль состояния морских акваторий оптическими методами. Часть 1. Концепция построения многоуровневых измерительных систем для экологического мониторинга прибрежных акваторий// Оптика атмо-сферы и океана, 2012,т.25,№7,стр. 633-637.
8. Константинов О.Г, Павлов А.Н. Комплексный контроль состояния морских акваторий оптическими методами. Часть 2. Регистрация загрязнений на морской поверхности.// Оптика атмосферы и океана, 2012, т.25,№10, стр. 902-908.
9. Константинов О.Г, Павлов А.Н. Комплексный контроль состояния морских акваторий оптическими методами. Часть 2. . Регистрация динамических процессов по сценкам на морской поверхности.// Оптика атмосферы и океана, 2012, в печати.
10. Гамаюнов Е.Л. и др. Комплексный кон-троль состояния морских акваторий оптическими методами. Часть 4. Опто-волоконная система измерения концентрации фитопланктона// Оптика атмо-сферы и океана, т.26, № 1, 2013, в печати.
11. Константинов О.Г., Павлов А.Н. Видеосистема контроля состояния морской поверхности// Приборы и техника эксперимента, 2012, №6, с. 121-123.

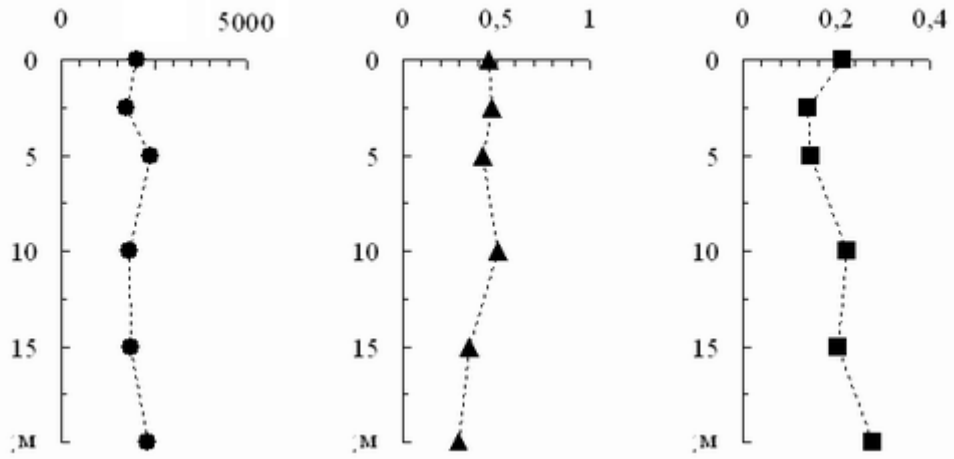
3. Анализ полученных результатов, доработка разработанного измерительного комплекса и методики его применения

3.1 Основные научные результаты

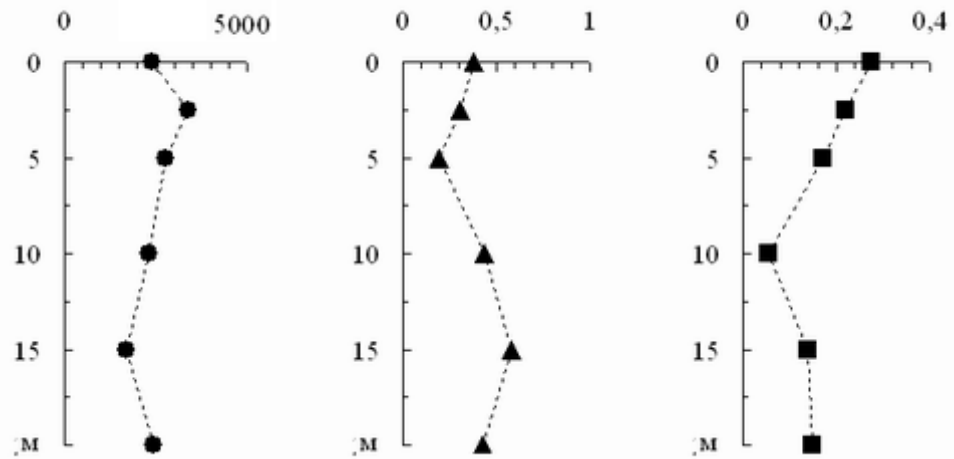
В ходе экспедиционных работ выполнены совместные флуоресцентные измерения разработанным флуориметром и датчиками WetLabs на зонде SBE19Plus. На основе данных полученных в экспедиции построены распределения хлорофилла «а», эффективности флуоресценции и фотохимического тушения. На графиках представлены примеры основных результатов измеренных и рассчитанных параметров флуоресценции. Графики первой экспедиции отражают результаты мониторинга в режиме прибрежных периодических измерений, вторая экспедиция – измерения в режиме «суточной станции».



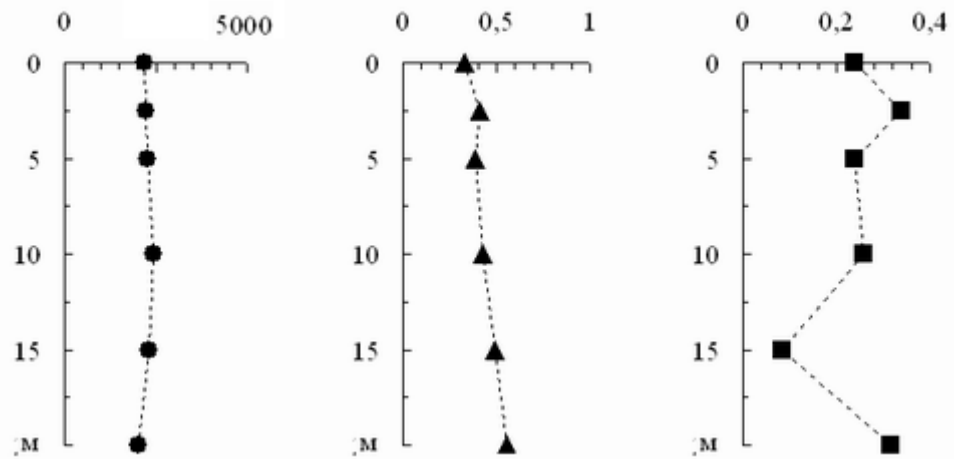
10-00



11-00



12-00



13-00

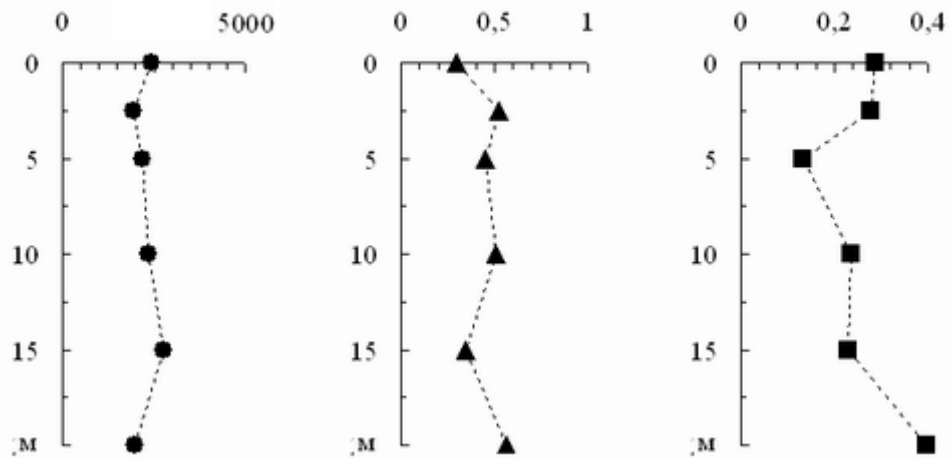
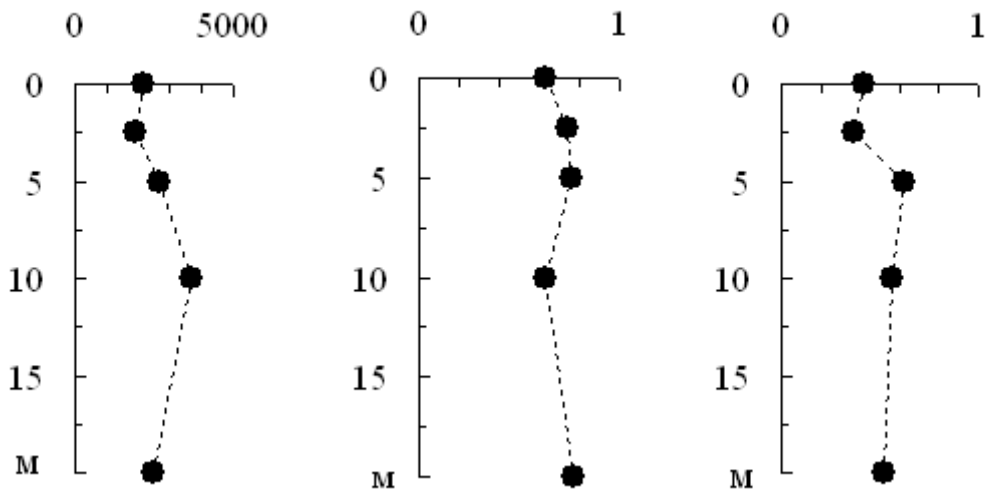


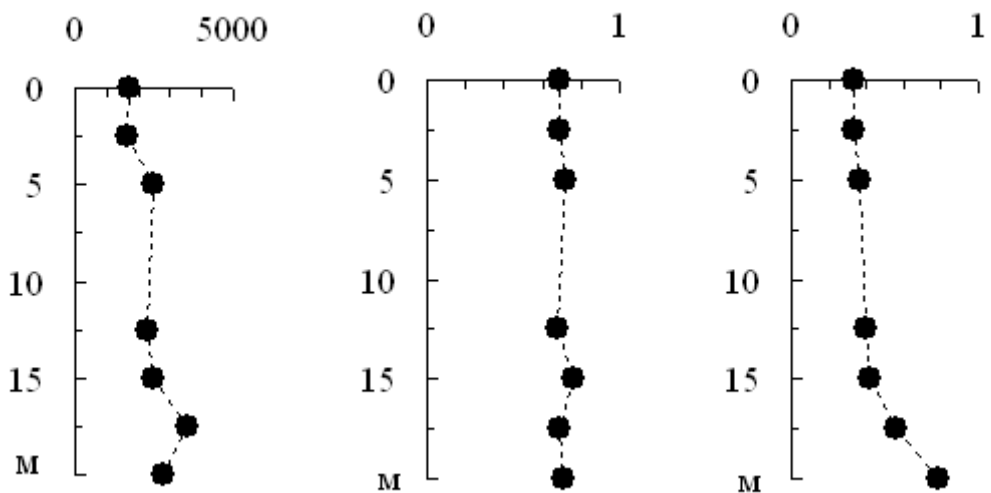
Рисунок 3.1. Результаты прибрежных измерений

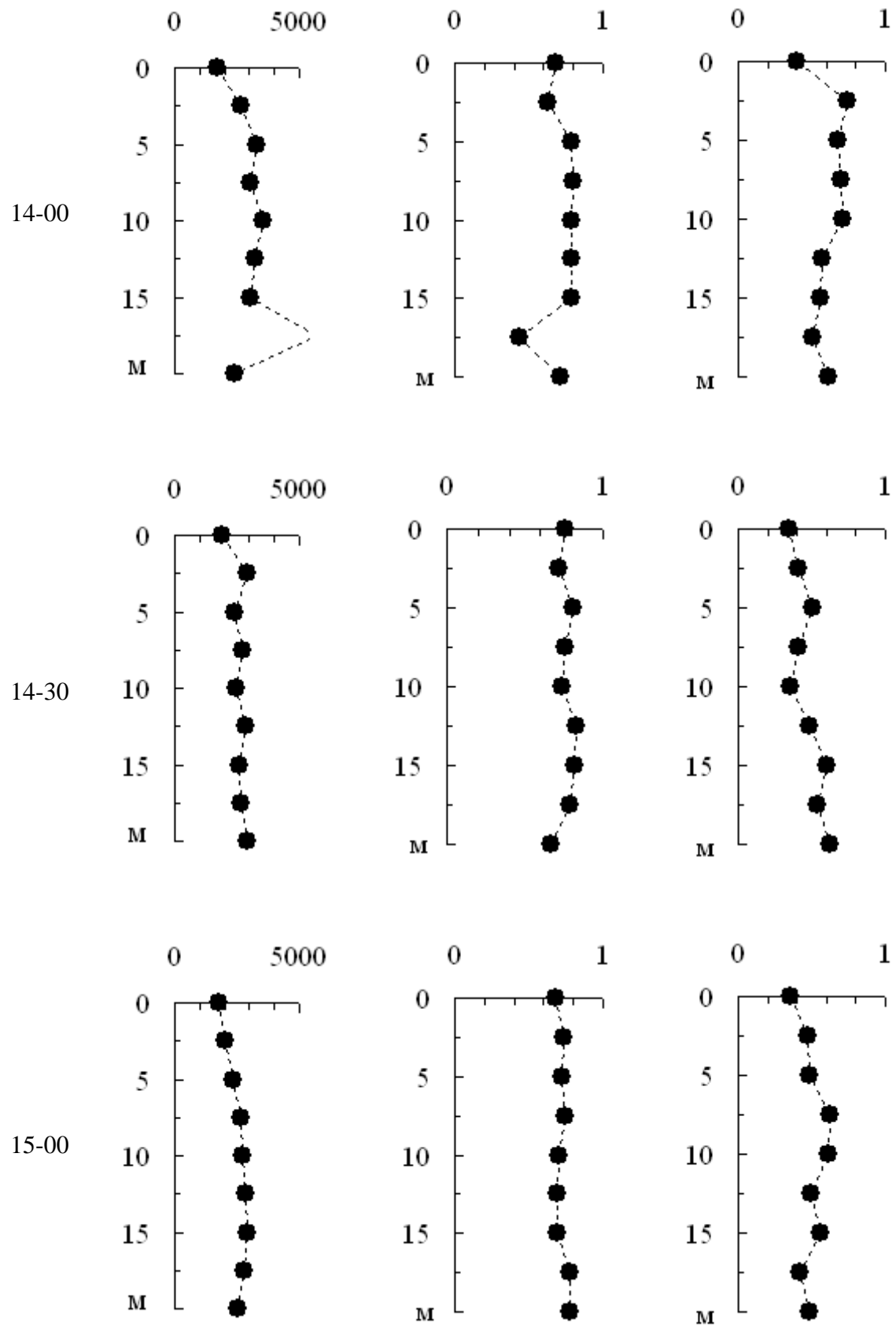
- - хлорофилл, отн. ед.,
- ▲ - эффективность флуоресценции, отн. ед.,
- - фотохимическое тушение, отн. ед.

13-00



13-30





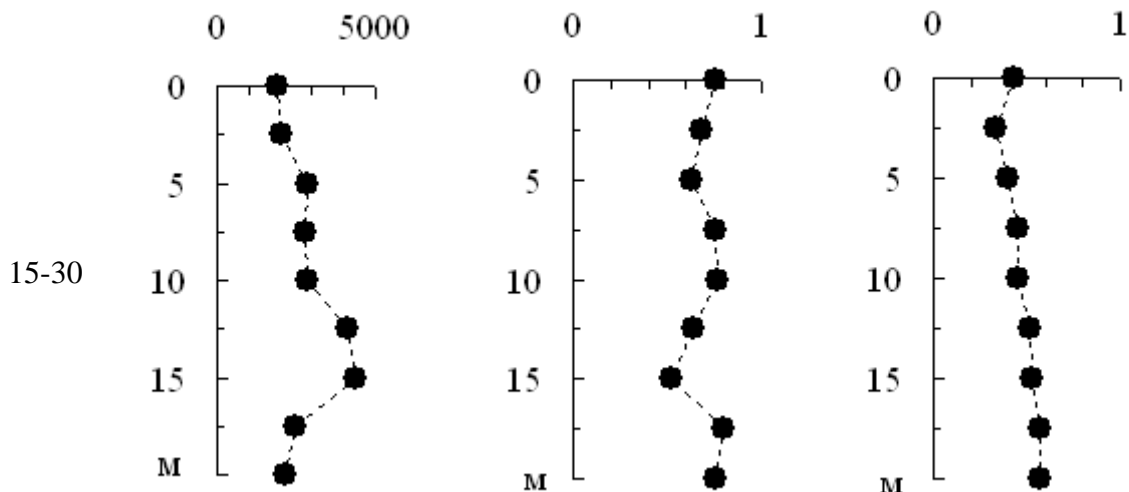


Рисунок 3.2. Результаты мониторинга в бухте Витязь

- - хлорофилл, отн. ед.,
- ▲ - эффективность флуоресценции, отн. ед.,
- – фотохимическое тушение, отн. ед.

3.2 Использование измерительного комплекса при проведении научных исследований

В период с 04 по 12 октября 2012 г. была проведена прибрежная экспедиция с целью исследования процессов газообмена между атмосферой и океаном в рамках интеграционного проекта Сибирского и Дальневосточного отделений РАН «Атмосферный аэрозоль азиатской части России и обменные процессы в системе атмосфера-водная поверхность-биота».

Главная цель работы в рамках газообменного направления состоит в том, что бы на основе комплексных экспериментов выявить и параметризовать процесс газообмена в системе поверхность вода–атмосфера, т.е. описать связь потоков с химическим составом воды, состоянием границы раздела вода-атмосфера и содержанием биоты, выявить их суточную и сезонную изменчивость. При таком подходе появляется возможность оценить роль атмосферных воздействий на цикл углерода и попытаться дать прогноз, как поведет себя экосистема в условиях глобального потепления и неуклонного роста содержания диоксида углерода в атмосфере (подчеркнем, что с точки зрения газообмена вода-атмосфера, это встречные процессы). Проектом предусмотрено изучение связи гидрохимических и гидробиологических показателей с интенсивностью газообмена с приводной атмосферой для различных сезонных, синоптических и метеорологических условий в регионе.

Основная задача, решаемая в период экспедиционных работ состояла в определении основных природных факторов, влияющих на суточную изменчивость потока CO_2 через морскую поверхность в литоральной области морского водоема. Существующие представления

о газообмене между атмосферой и океаном основаны на двух основных моделях – турбулентно-диффузной модели Ваннинкова и модели, учитывающей пузырьковый газообмен, и к настоящему времени нет полного понимания того, какой механизм доминирует в тех или иных условиях.

Задача газообмена между двумя резервуарами внешне чрезвычайно проста, поскольку в основе ее лежит закон Генри, который хорошо исследован для разных газов. Движущей силой потока углекислого газа между двумя резервуарами является разность парциальных давлений углекислого газа ($p\text{CO}_2$) между океаном и атмосферой, соответственно. Однако осложнения возникают в том, что растворенный углекислый газ является одним из компонентов карбонатной системы природных вод. Здесь под карбонатной системой природных вод понимаются все формы растворенного неорганического углерода (растворенная двуокись углерода, гидрокарбонат ион и карбонат ион). Эти компоненты карбонатной системы связаны между собой через химическое равновесие и устанавливаются через измеряемые параметры карбонатной системы (рН, $p\text{CO}_2$, DIC – растворенный неорганический углерод, TA – общая щелочность). Любой биогеохимический процесс (фотосинтез, разложение органического вещества, образование или растворение карбоната кальция) либо физический процесс (нагрев, охлаждение) приводят к перераспределению всех компонентов карбонатной системы, и, соответственно, к изменению $p\text{CO}_2$ морской воды. Поэтому причины вариаций $p\text{CO}_2$ морской воды могут быть разными и требуют детального экспериментального исследования и теоретического рассмотрения.

Для выполнения комплексных экспериментальных исследований была выбрана станция наблюдений в бухте Витязь, с координатами 42,58398° С.Ш., 131.15274° В.Д. Предварительно, перед выбором станции было осуществлено гидрологическое профилирование водной толщи зондом SeaBird на CTD характеристики, концентрацию хлорофилла, органического вещества. Окончательный выбор этой станции обусловлен двумя главными причинами: а) данная станция удалена от всевозможных антропогенных источников загрязнения, поэтому полученные результаты могут характеризовать суточную динамику природных процессов; б) в непосредственной близости от выбранной станции (расстояние 50 м) находится лабораторный корпус, в котором расположена регистрирующая аппаратура. Глубина места составляла 6м. На горизонте 2.5 м был расположен зонд SeaBird, который регистрировал CTD, концентрации хлорофилла, органического вещества, ФАР. С этого же горизонта насосом откачивалась вода в лабораторный корпус, где в непрерывном режиме осуществлялась регистрация ряда биооптических, акустических и гидрохимических параметров, в том числе рН. Дополнительно, каждые два часа отбирались пробы воды на растворенный кислород, щелочность и на концентрации биогенных элементов (аммоний, нитриты, нитраты, фосфаты, силикаты). На

рисунках 3.3 и 3.4 изображены рабочие моменты подготовки и установки приборов. На рисунках 3.5 и 3.6 показано расположение измерительной аппаратуры на месте исследования, а расположение измерительных приборов в лабораторном корпусе приведено на рисунке 3.7



Рисунок 3.3 Подготовка приборов к установке для проведения четырех суточных измерений в режиме мониторинга.

а – подготовка эхолота для установки на буйковую станцию; б – Подготовка эквелибратора CO_2 ; в – Подготовка гидрологического зонда к установке на буйковую станцию.



Рисунок 3.4 Установка системы прокачки морской воды и акустической системы.

а – установка насоса прокачки морской воды; б – буксировка эхолота



Рисунок 3.5 Место проведения эксперимента



Рисунок 3.6 Расположение приборов в литеральной зоне бухты Витязь.



Рисунок 3.7 Расположение аппаратуры в лабораторном помещении.

а – д.х.н. Тищенко П.Я. за автоматизированными комплексами мониторинга морской воды и фотосинтетической активности клеток фитопланктона; б – к.ф.-м.н. Салюк П.А. во время работы с ДЛФ

В результате комплексного эксперимента прослежена суточная динамика основных факторов, влияющих на газообмен через морскую поверхность CO_2 и O_2 . К этим факторам относятся:

1. Гидрологические характеристики (температура воды, соленость, фотоактивная радиация) (Рис.3.8)
2. Биооптические характеристики (концентрация хлорофилла «а», содержание растворенного органического вещества, коэффициент фотосинтетической активности клеток фитопланктона) (Рис. 3.9)
3. Акустические характеристики, позволяющие оценить глубину проникновения воздушных пузырьков и их распределение по размерам.
4. Метеорологические характеристики (температура, давление, влажность, скорость и направление приводного ветра, характеристики морского волнения)
5. Содержание углекислого газа непосредственно над водной поверхностью и под ней, поток CO_2 через морскую поверхность (Рис. 3.10).
6. б.рН, растворенный кислород, щелочность, концентрации биогенных элементов (аммоний, нитриты, нитраты, фосфаты, силикаты), парциальное давление CO_2 (Рис. 3.11-3.13).

Следует заметить, что работы по первым четырем пунктам были выполнены с использованием разработанного в рамках контракта аппаратурного комплекса.

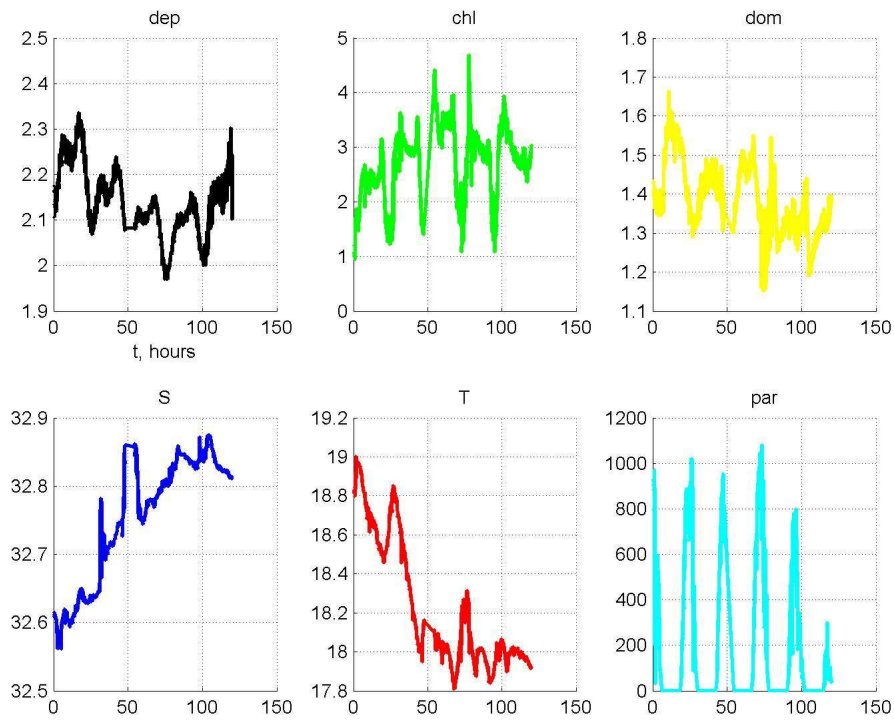


Рисунок 3.8 Изменчивость гидрологических характеристик: dep-глубина (м), chl – концентрация Хлорофилла а (мкг/л), dom – содержание растворенного органического вещества (мкг/л), S – соленость (‰), T – температура (°C), par – фотоактивная радиация (Вт/м²).

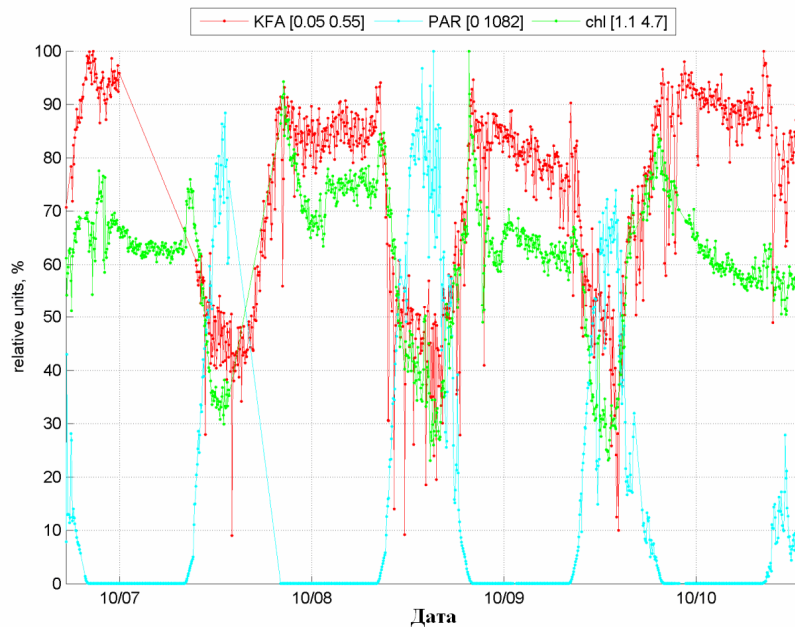


Рисунок 3.9 Биооптические характеристики: KFA- коэффициент фотосинтетической активности клеток фитопланктона, PAR – фотоактивная радиация, chl – концентрация Хлорофилла а



Рис. 3.10 Временная развертка содержания CO_2 над и под морской поверхностью

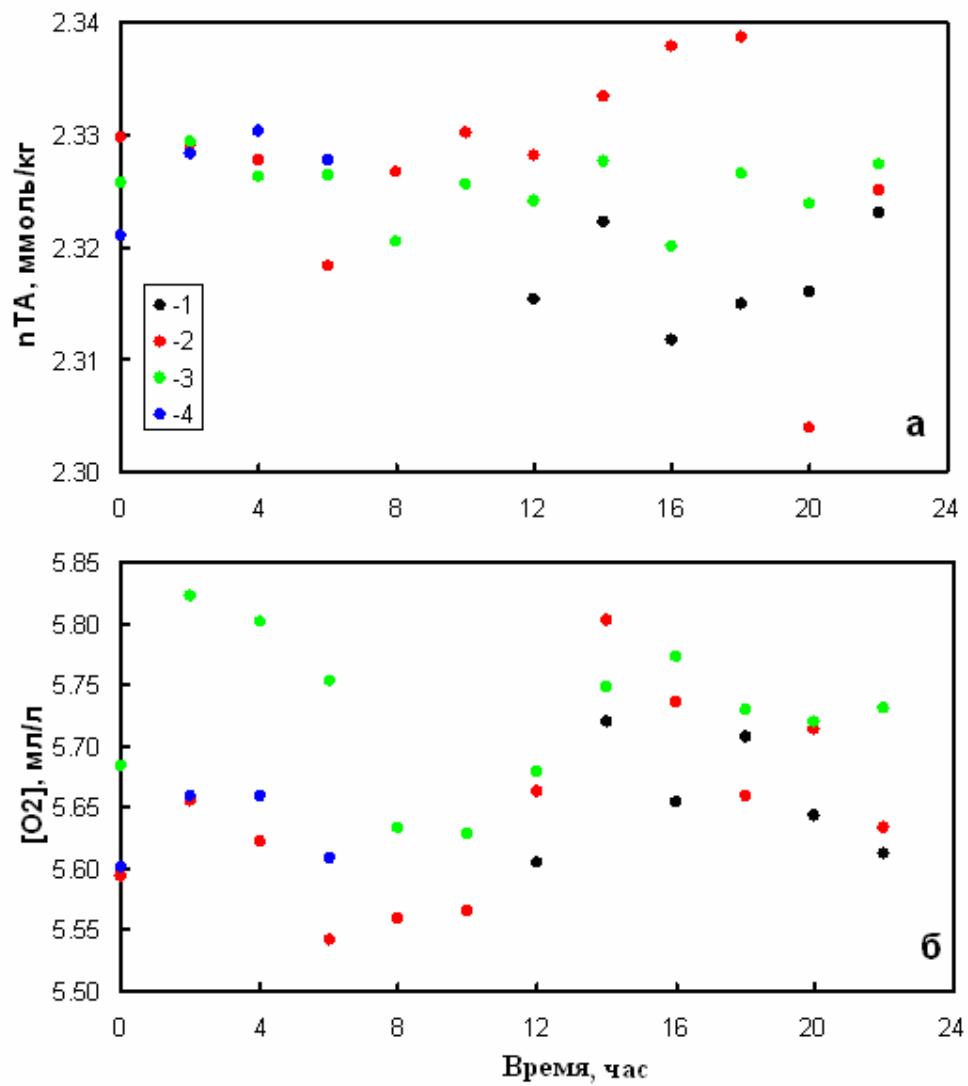


Рисунок 3.11 Суточная изменчивость концентрации веществ измеренная на станции «мыс Шульца», октябрь 2012 г. 1 – 6 октября, 2 – 7 октября, 3 – 8 октября, 4 – 9 октября. а – для нормированной щелочности; б – для растворенного кислорода.

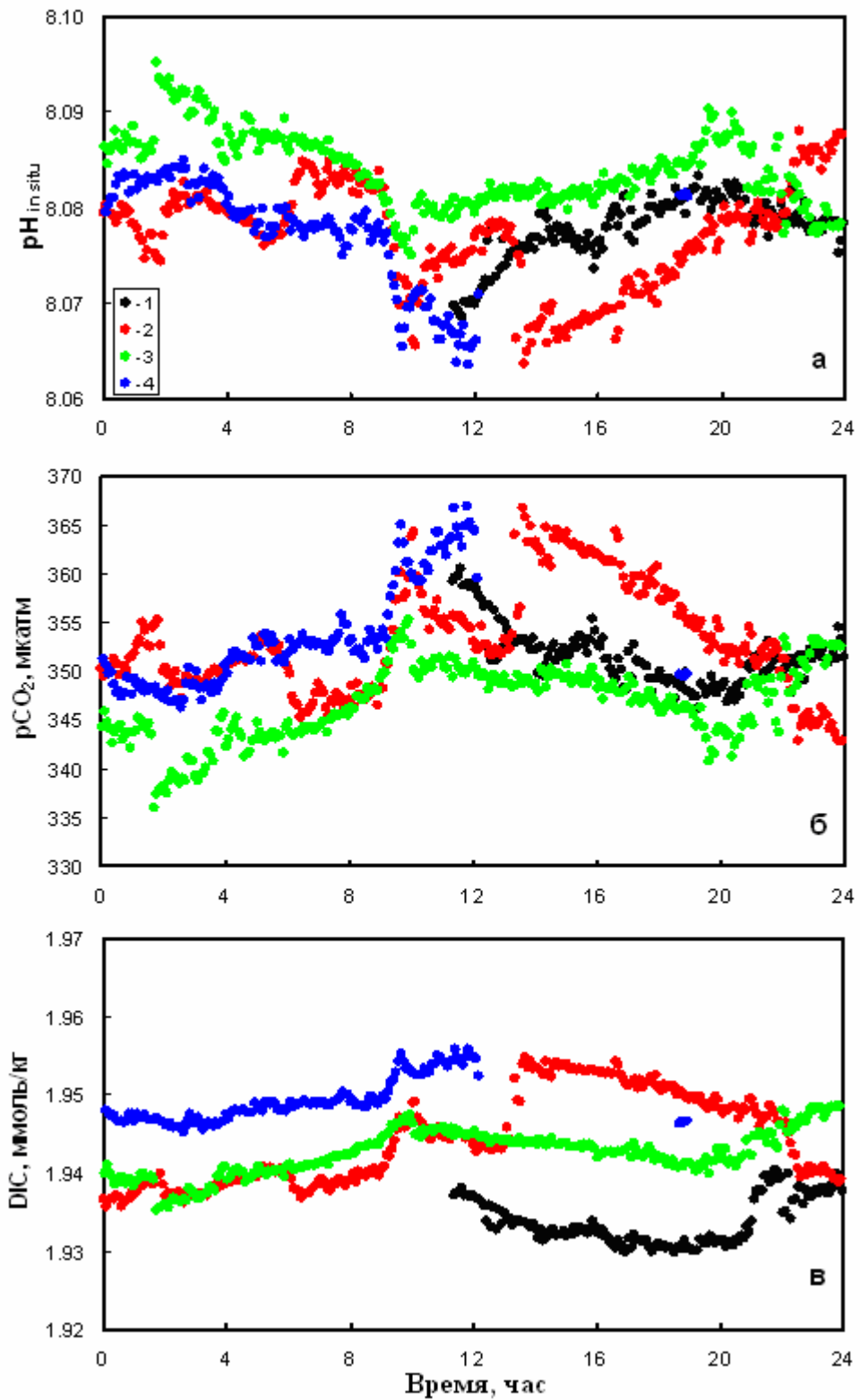


Рисунок 3.12 Суточная изменчивость измеренная на станции «мыс Шульца» октябрь 2012 г. 1 – 6 октября, 2 – 7 октября, 3 – 8 октября, 4 – 9 октября.
 а – уровень кислотности (шкала pH – “total hydrogen concentration scale”; Dickson, 1984); б – парциальное давление углекислого газ; в – растворенный неорганический углерод

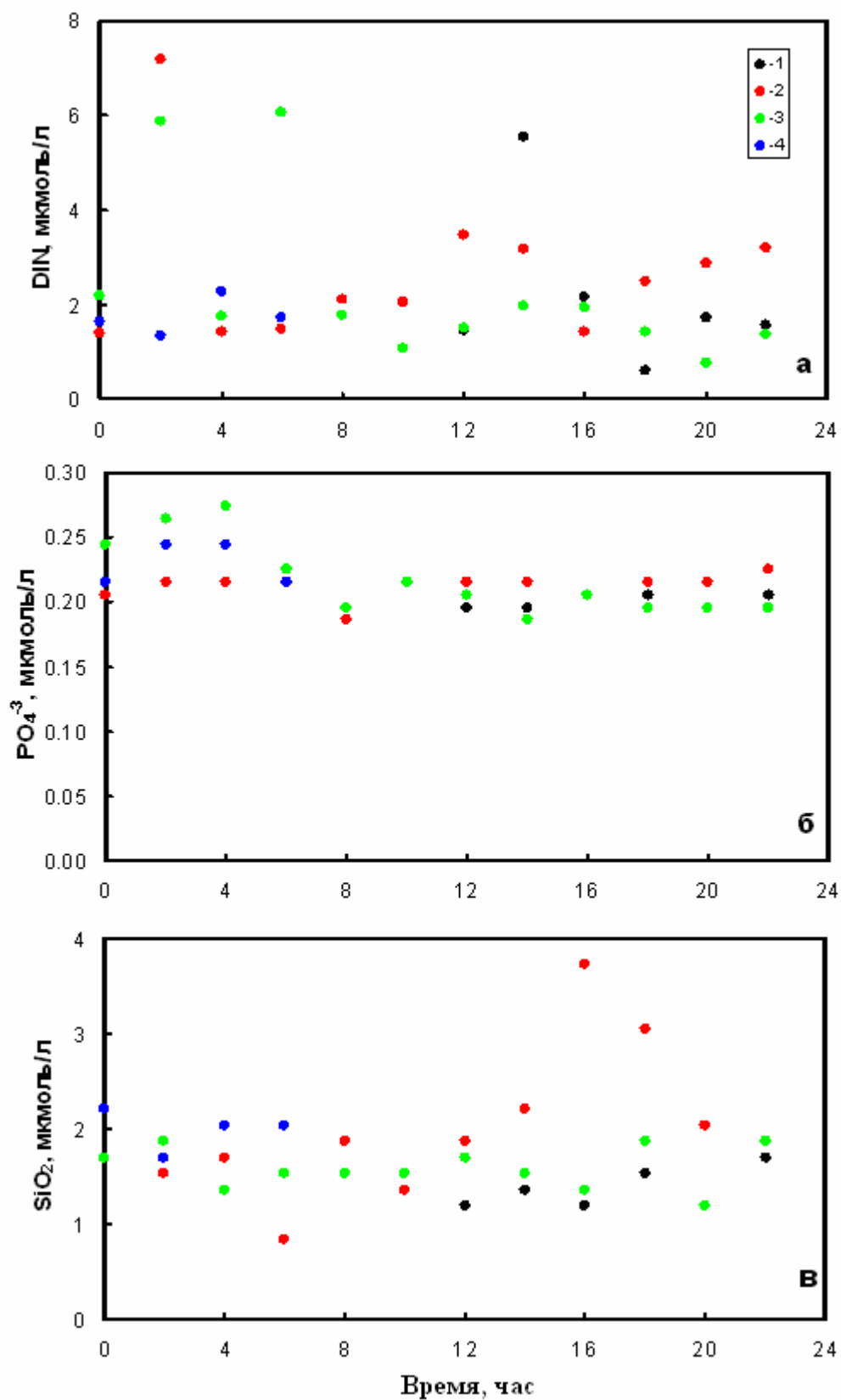


Рисунок 3.13 Суточная изменчивость концентрации биогенных элементов измеренная на станции «мыс Шульца» октябрь 2012 г. **1** – 6 октября, **2** – 7 октября, **3** – 8 октября, **4** – 9 октября. **а** – растворенный неорганический азот; **б** – фосфаты; **в** – силикаты.

3.2 Доработка измерительного комплекса

3.2.1 Замена полупроводникового светодиода на лазерный.

В ходе экспедиционных исследований 13 – 15 сентября 2012 г. были выявлены определенные недостатки при работе с оптоволоконным флуориметром:

1. Высокий уровень шумов.
2. Большие потери излучаемого в оптическое волокно света.
3. Чувствительность к температурному режиму.
4. Нестабильность оптической мощности.
5. Наличие в спектре плеча красного света (550-750 нм) с максимумом на длине волны 670нм.

Большие потери на входе объясняются широкой диаграммой направленности полупроводниковых светодиодов. Как правило, светодиоды изготавливаются с расчетом на освещение больших площадей, и только некоторые производители выпускают специальные линзы, для уменьшения угла светового пучка. Однако система фокусировки светодиода, при помощи таких линз является громоздкой и вносит значительные дополнительные потери, что делает ее не эффективной.

Так как светодиоды работают при токах до 1000 мА, температура кристалла достигает больших значений. Увеличение температуры вызывает уменьшение оптической мощности излучения и сокращает время работы самого диода. Для облегчения рабочего температурного режима, необходимо охлаждение, которое осуществляется при помощи радиаторов. Использование больших радиаторов усложняет конструкцию и делает ее менее надежной.

Нестабильность полупроводниковых светодиодов связана с их температурной чувствительностью и отклонениями параметров при производстве. Выяснилось, что именно нестабильность источников излучения создает на графиках «артефактные» сигналы флуоресценции. Нестабильность оптического сигнала так же проявляется в неравномерном распределении тока и температуры между кристаллами светодиода.

Как выяснилось при испытаниях разработанного прибора, в спектре синего светодиода присутствует красное излучение. Интенсивность света на длинах волн от 550 до 750 нм мала, но достаточна, для того, чтобы внести ошибку в показания флуориметра. Проблему можно решить, установив перед источником света фильтр, обрезающий свет в диапазоне длинных волн, однако, при установке фильтра появляются дополнительные потери сигнала.

Существенно уменьшить указанные недостатки, можно путем замены сверхмощных полупроводниковых светодиодов на лазерные, которые имеют более высокую плотность пучка света, узкий спектр излучения и малый уровень паразитных спектральных составляющих,

большую стабильность. Для эффективного возбуждения флуоресценции фитопланктона длина волны таких лазерных диодов должна находиться в диапазоне 430 – 470 нм. В настоящее время на рынке представлены мощные лазерные диоды выполненные на InGaN с длиной волны 445 нм. Наиболее мощные из них генерируют оптическую мощность излучения 1 – 1.2 Вт при диаметре выходного пучка света 1.2 мм. Такие устройства производятся компаниями «Nichia» – Япония и «OSRAM» – Германия. Данные устройства имеют большую плотность потока мощности светового излучения, их входные характеристики: ток 1 – 1,2 А; среднее напряжение 5 В. Имеется множество типов различных конфигураций радиаторов для лазерных диодов, которые отличаются малыми габаритами и удобством установки.

3.2.2 Замена ФЭУ

Сигнал флуоресценции фитопланктона наблюдается в диапазоне длин волн 680-690 нм, длится от 1 до 10 нс и имеет низкую мощность. В связи с этим для регистрации таких сигналов используют чувствительные приемники излучения, такие как ФЭУ. В разработанном измерителе параметров флуоресценции используется ФЭУ R928 фирмы «Hamamatsu». Данная модель имеет катодную чувствительность в диапазоне измерений равную 35 мА/Вт и время накопления сигнала 2,2 нс. ФЭУ с такими характеристиками достаточно для измерения параметров флуоресценции фитопланктона, однако, во время морских испытаний, при измерениях в морской воде было обнаружено, что измерению сигнала флуоресценции мешают помехи, которые возникают из-за наличия сторонних засветок (засветки от источника возбуждения, от солнечного света, от посторонних светящихся микроорганизмов). Для повышения чувствительности приемной аппаратуры необходим ФЭУ с большей чувствительностью в диапазоне длин волн 680-690 нм. Таким ФЭУ является модель H6779 той же компани. На рисунке 3.14 представлены катодные спектральные чувствительности обоих ФЭУ.

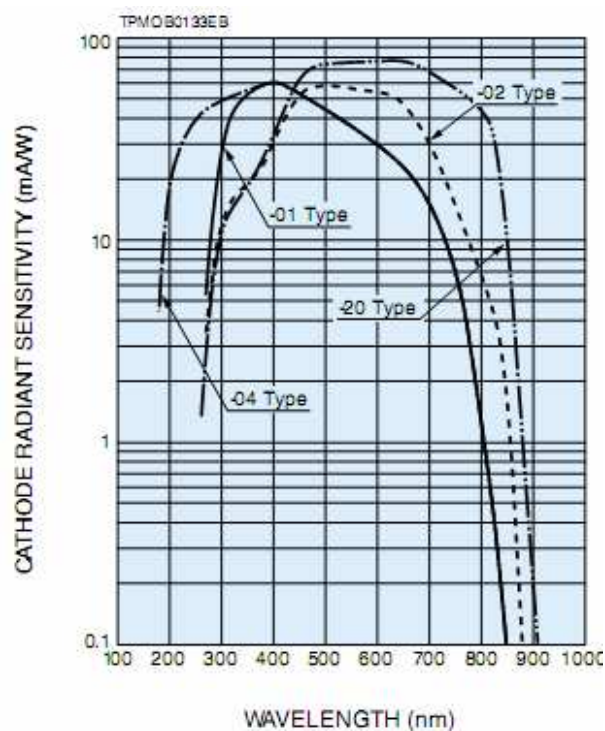
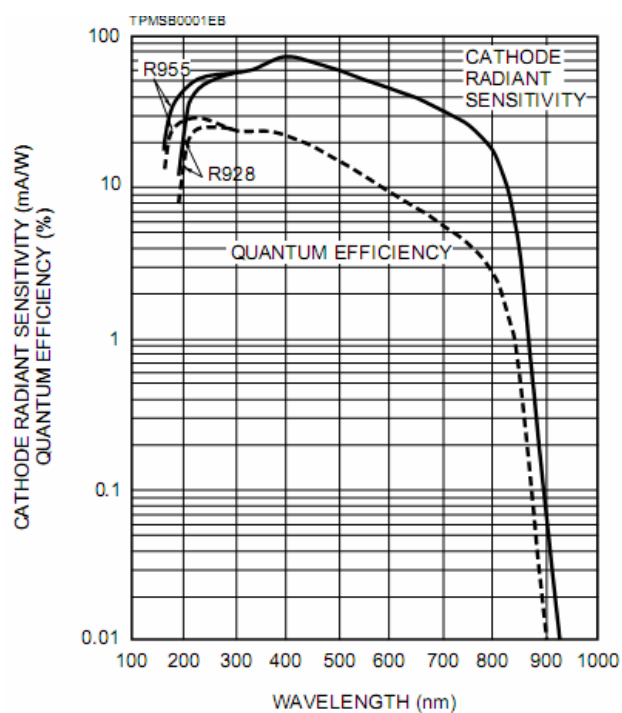


Рисунок 3.14 Диаграммы чувствительности R928 слева и H6779 справа.

Как видно из рисунка 3.14, H6779 имеет катодную чувствительность 70 мА/Вт в диапазоне флуоресценции хлорофилла а 680-690 нм, что в два раза больше чем у R928 использовавшегося ранее. Кроме этого время накопления сигнала ФЭУ H6779 составляет 0,78 нс и это позволяет регистрировать даже самые короткие вспышки флуоресценции.

Замена существующего приемника позволит повысить отношение сигнал флуоресценции/возбуждающий сигнал, что приведет к улучшению работы прибора и уменьшит уровень шумов. Кроме этого H6779 может монтироваться сразу на плату, что упрощает конструкцию ФПУ.

3.2.3 Результаты модернизации

Для оценки внесенных в систему изменений при модернизации разработанного измерителя параметров фотосинтеза (ИПФ) были проведены испытания в соответствии с Программой и методиками испытаний №2 приведенной в Приложении А. Испытания выполнялись в морских условиях. Результаты испытаний приведены в протоколе испытаний от 28.09.2012 (приложение Б).

Ниже рассматриваются сигналы, которые получены при измерениях в морской воде. На рисунке 3.15 представлен график кинетики флуоресценции измеренной ИПФ в его первоначальном состоянии, до внесения изменений в измерительной системе флуориметра.

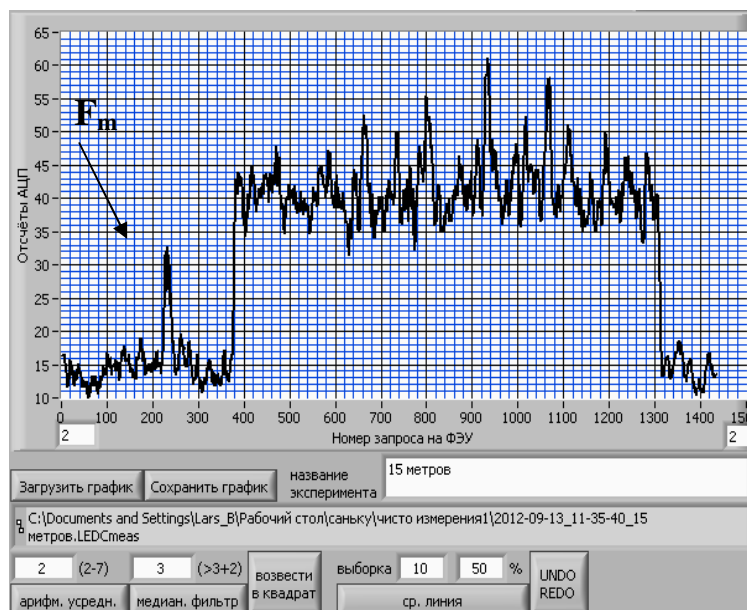


Рисунок 3.15. Кинетика флуоресценции, измеренная ИПФ до модернизации

При использовании полупроводникового светодиода в качестве источника возбуждающего флуоресценцию света, в оптическое волокно попадает лишь часть его излучения, что связано с большой площадью кристалла и низкой плотностью потока мощности у полупроводниковых диодов. Как видно из рисунка 1, из-за низкой мощности возбуждающего излучения флуоресценция фитопланктона плохо различима на фоне шумов. На графике трудно различимы моменты переключения между режимами, которые должны быть отчетливо видны для определения параметров фотосинтеза..

На рисунке 3.16 показаны графики флуоресценции измеренные с использованием ФЭУ Н6779. Чувствительность данного устройства в области флуоресценции фитопланктона выше, чем у ранее использовавшегося ФЭУ R928. На графике видно, что уровень шума при измерении заметно ниже, а сигнал флуоресценции хорошо выражен.

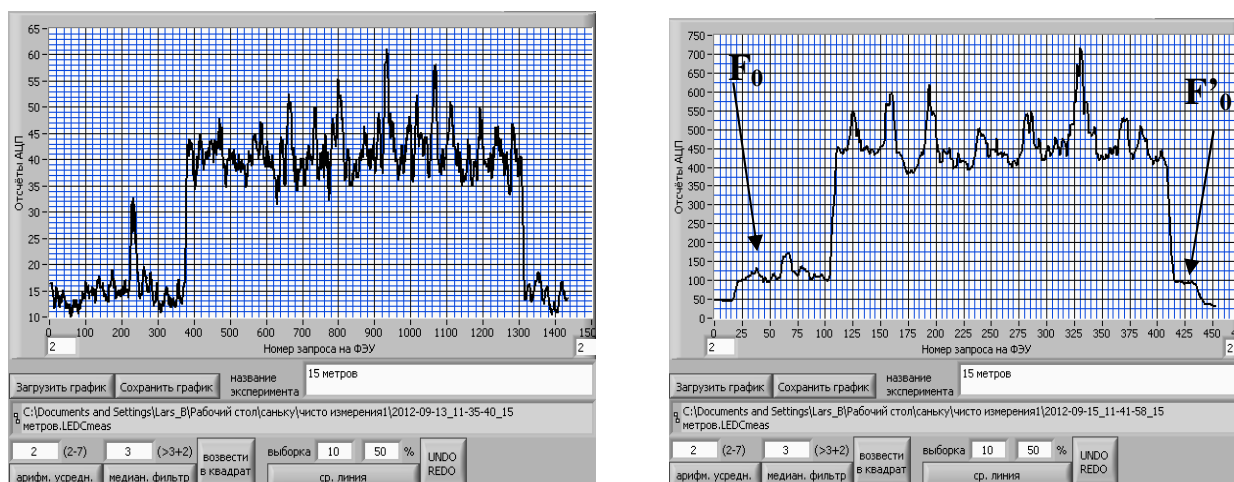


Рисунок 3.16. Измерения с использованием ФЭУ R928 и ФЭУ Н6779

Слева - кинетика измеренная с помощью ФЭУ R928; справа – кинетика измеренная с помощью ФЭУ H6779

Дальнейшее увеличение информативности измерений было обеспечено путем повышения уровня мощности возбуждающего света, для чего были использованы лазерные диоды с большей плотностью потока мощности излучения. После подключения лазерных диодов были получены графики, которые изображены на рисунке 3.17.

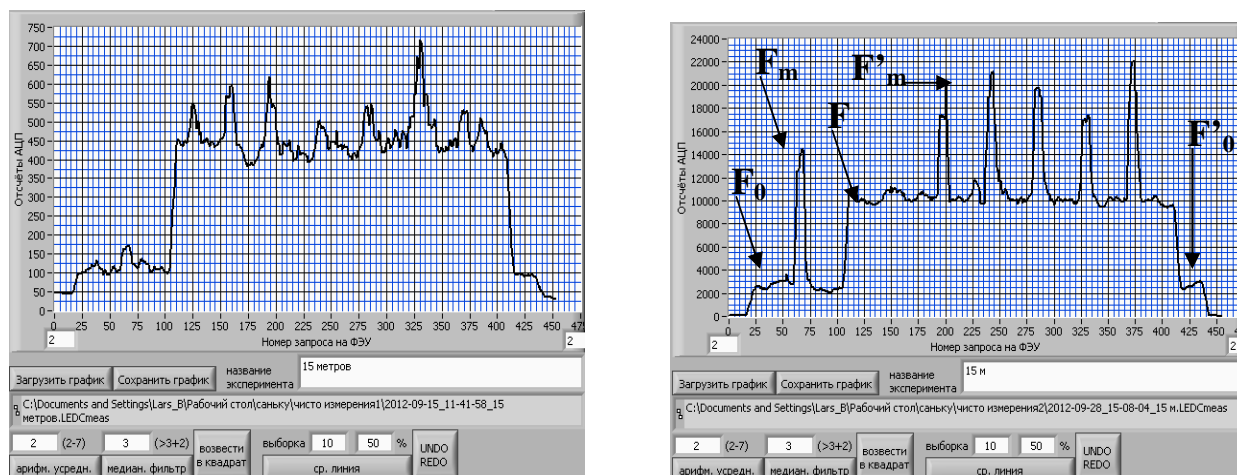


Рисунок 3.17. Замена полупроводниковых светодиодов на лазерные

Слева - кинетика измеренная с помощью полупроводниковых светодиодов; справа – кинетика измеренная с помощью лазерных диодов

Как видно на этом рисунке. При использовании более плотного потока света, удается получить отчетливую картину кинетики флуоресценции. На графике, после обработки хорошо видны характерные точки, необходимые для определения параметров фотосинтеза, кроме того, заметно увеличилась интенсивность сигнала флуоресценции. Увеличение уровня интенсивности флуоресценции позволяет проводить измерения даже при наличии фоновых засветок (солнечный свет, случайные аппаратные засветки). График, изображенный на рисунке 3 (справа) позволяет определить все характерные точки и рассчитать все параметры фотосинтеза.

Испытания модернизированного ИПФ показали, что увеличение интенсивности возбуждающего света и установка нового ФЭУ позволили достичь чувствительности обнаружения хлорофилла а 0.02 мкг/л, что в 4 раза лучше чем в первоначальном варианте и уменьшить погрешность измерения концентрации хлорофилла а до 7.6 - 16.2 % (среднее значение 10.7 %). Результаты испытаний приведены в «Протоколе испытания по пункту 3.3. Программы и методики испытаний №2 [16.518.11.7050]» в Приложении Б.

3.3 Методика применения измерительного комплекса

3.3.1 Методика совместного использования оптических и гидроакустических систем для мониторинга экологического состояния морских акваторий.

Одной из актуальных проблем прибрежных индустриальных регионов является проблема борьбы с загрязнением прилегающих акваторий. Возведение платформ добычи углеводородного сырья и нефтяных терминалов, прокладка нефтяных и газовых трубопроводов по дну морских акваторий, функционирование портовых служб и очистных сооружений – лишь небольшой перечень факторов, оказывающих сильное воздействие на экологическое состояние морских акваторий и водных бассейнов. Экологическое состояние в прибрежных регионах определяется сильной связью и взаимовлиянием между атмосферой, водной акваторией и береговой территорией. Изучение такой связи требует проведения одновременных измерений многих параметров окружающей среды и в первую очередь реакции на загрязнение и гидродинамические процессы такого чуткого индикатора экологического состояния среды, как фитопланктон. Следует отметить, что на изменение состояния клеток фитопланктона, а значит биопродуктивность и экологию вод, кроме загрязнений влияет множество других факторов – изменение структуры вод, изменчивость биогенных веществ, течения, перемешивание вод морскими вихрями, изменение светового режима и т.д. Поскольку влияние многих из этих процессов на биопродуктивность и экологию вод до конца не изучено, то методикой предусмотрено использование двухуровневой системы мониторинга прибрежных акваторий, не только с целью экологического контроля, но и изучения влияния гидродинамических процессов в верхнем слое океана на состояние фитопланктона (динамика полей хлорофилла «а», способность клеток к фотосинтезу) и динамику звуко- и светорассеивающих слоев.

Первый уровень мониторинга возложен на панорамную поляризационную видеосистему контроля состояния морской поверхности. В задачу этого уровня входит: обнаружение и картирование загрязнений, которые могут быть в виде органических пленок природного и искусственного происхождения; регистрация гидродинамических процессов (течения, внутренние волны, морские вихри), ответственных, в частности, за распространение и эволюцию загрязняющих веществ (ЗВ); оценка характеристик приводного ветрового поля с целью прогноза распространения ЗВ; наведение судна с аппаратурой второго уровня контроля в проблемную область контролируемой акватории.

Второй уровень мониторинга возложен на аппаратный комплекс судового базирования. В проблемной области на ходу судна осуществляется одновременное акустическое и лидарное зондирование с привязкой к географической системе координат с целью определения пространственного (вертикального и горизонтального) распределения

звуко- и светорассеивающих слоев в деятельном слое океана. Как правило, звукорассеивающие слои отражают динамику мелкомасштабных неоднородностей, к которым относятся взвесь, зоопланктон, воздушные пузырьки. Светорассеивающие слои образованы более мелкими неоднородностями, к числу которых относится и фитопланктон.

По данным лидарного зондирования производится оценка глубины расположения фитопланктона, а по данным акустического зондирования – оценка глубины пикноклина и расположение полей зоопланктона.

Одновременно с дистанционным зондированием по ходу судна осуществляется маршрутный промер концентрации Хлорофилла а и проводится оценка фотосинтетической активности клеток фитопланктона в приповерхностном слое на глубине около двух метров.

Интеграция данных первого и второго уровня позволяет выявить наиболее интересные точки и глубины для более детального изучения гидрологических и биооптических (концентрация Хлорофилла а и способность клеток фитопланктона к фотосинтезу) характеристик водной толщи. В этих точках проводится гидрологическое и флуоресцентное профилирование с помощью гидрологического и оптоволоконного зондов. Аппаратурное обеспечение включает в себя:

1. Аппаратура первого уровня контроля: Видеосистема контроля состояния морской поверхности.
2. Аппаратурные комплексы второго уровня контроля.
 - 2.1 высокочастотный эхолот;
 - 2.2 гидролидар;
 - 2.3 оптоволоконный зонд для профилирования в морской толще концентрации Хлорофилла а и фотосинтетической активности клеток фитопланктона;
 - 2.4 светодиодный прокачиваемый флуориметр для оценки фотосинтетической активности фитопланктона.

3.3.2 Методика обработки акустических измерений

Для описания рассеяния звука в среде с микронеоднородностями используется коэффициент рассеяния m_v , который в приближении однократного рассеяния (борновском приближении) определяется согласно выражению:

$$I_{bs} = I_i V m_v / r^2, \quad (3.1)$$

где, I_{bs}, I_i – интенсивности падающего на неоднородность и рассеянного звука соответственно;

r - расстояние до неоднородности;

V - импульсный рассеивающий объем среды.

Из формулы (3.1) можно получить экспериментальное значение коэффициента обратного рассеяния звука в жидкости в виде

$$m_v = \frac{2}{\pi \theta^2 c \tau} \left(\frac{P_{bs}}{P_i} \right), \quad (3.2)$$

где, P_i и P_{bs} – соответственно, амплитуды падающей на объем V волны и рассеянной в обратном направлении;

Часто коэффициент рассеяния звука m_v записывают в логарифмической форме – в децибелах согласно следующей формуле

$$S_v(\omega) = 10 \lg m_v(\omega), \quad (3.3)$$

при этом размерность m_v берут в m^{-1} . С помощью формул (3.2)-(3.3) экспериментально определяется частотная зависимость $m_v(\omega)$ или $S_v(\omega)$, которая позволяет установить тип рассеивателей, а также некоторые их характеристики, например, функцию распределения по размерам $g(R)$ или объемную концентрацию V_0 , определяемую в виде

$$V_0 = (4\pi / 3) \int_{R_{\min}}^{R_{\max}} R^3 g(R) dR. \quad (3.4)$$

Формулы (3.1)- (3.3) составляют основу определения коэффициентов рассеяния звука на основании экспериментальных данных по измерениям амплитуд падающей на объем V волны и рассеянной в обратном направлении P_i и P_{bs} , соответственно.

Временная развертка вертикальных профилей этих величин дает информацию о их пространственном распределении, если измерения проводятся по ходу судна, либо их временной изменчивости при измерениях в определенной географической точке.

3.3.3 Методика обработки лидарных измерений

В приближении однократного рассеяния рассеянный на оптических неоднородностях лазерный импульс описывается так называемым лидарным уравнением:

$$P(\lambda, z) = C \frac{\beta_m(\lambda, z) + \beta_g(\lambda, z)}{z^2} \exp \left[-2 \int_{z_0}^z [\alpha_m(\lambda, z') + \alpha_g(\lambda, z')] dz' \right], \quad (3.5)$$

где $P(\lambda, z)$ – мощность сигнала обратного рассеяния, обусловленного молекулярным и гидрозольным рассеянием;

β_m и β_g – коэффициенты молекулярного и гидрозольного обратного рассеяния;

α_m и α_g – коэффициенты молекулярного и гидрозольного ослабления для волны λ , соответственно;

C – аппаратная константа в рабочей области лидара, в которую входят такие характеристики лидара, как апертура телескопа, мощность и длительность лазерного импульса и, в частности, геометрический фактор, определяющий степень вхождения зондирующего излучения в поле зрения телескопа лидара.

При построении временной развертки лидарного зондирования принято использовать скорректированный на расстояние лидарный сигнал S :

$$S(z) = P(z)z^2 \quad (3.6)$$

Как и в случае акустического зондирования временная развертка вертикальных профилей этой величины дает информацию о пространственном распределении светорассеивающих слоев, если измерения проводятся по ходу судна, либо их временной изменчивости при измерениях в определенной географической точке.

3.3.4 Методика обработки данных флуориметрического профилирования толщи морской воды с целью определения вертикального распределения фотосинтетической активности клеток фитопланктона.

Расчет коэффициента фотосинтетической активности (F_v/F_m) производится на основе измерений реперных точек кинетической кривой флуоресценции сделанных при помощи метода импульсной модуляции флуоресценции, которая показана на рисунке. 3.19.

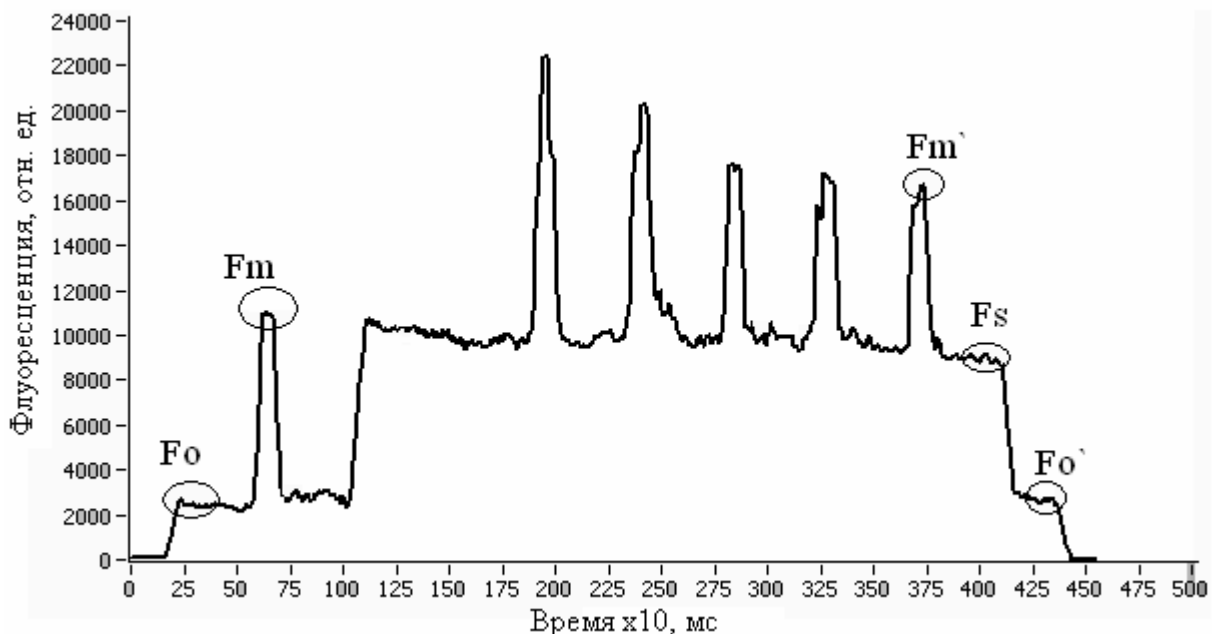


Рисунок 3.19 Кривая кинетики флуоресценции

На рисунке 3.19 обозначены следующие величины: F_0 – минимальный выход флуоресценции в исходном состоянии; F_m – максимальный выход флуоресценции в исходном состоянии; F_m' – максимальный выход флуоресценции под воздействием актиничного излучения; F_s – выход флуоресценции при частично восстановленных реакционных центрах; F_0' – минимальный выход флуоресценции после воздействия актиничного излучения. Расчет коэффициента фотосинтетической активности производится по формуле:

$$F_v / F_m = \frac{(F_m - F_0)}{F_m} \quad (3.7)$$

3.3.5 Методика обработки флуориметрических проточных измерений

Методика предназначена для расчета концентрации Хлорофилла а по спектрам лазерной индуцированной флуоресценции в водах с большим содержанием РОВ. Измерения проводятся лазерным флуориметром в проточной воде. На рисунке 3.20 представлена форма спектра флуоресценции морской воды при возбуждении лазерным излучением на длине волны 532 нм. Из рисунка видно, что спектральная линия флуоресценции Хлорофилла а ($I_{\text{хл}}(680)$) лежит на подложке – широкой линии флуоресценции РОВ.

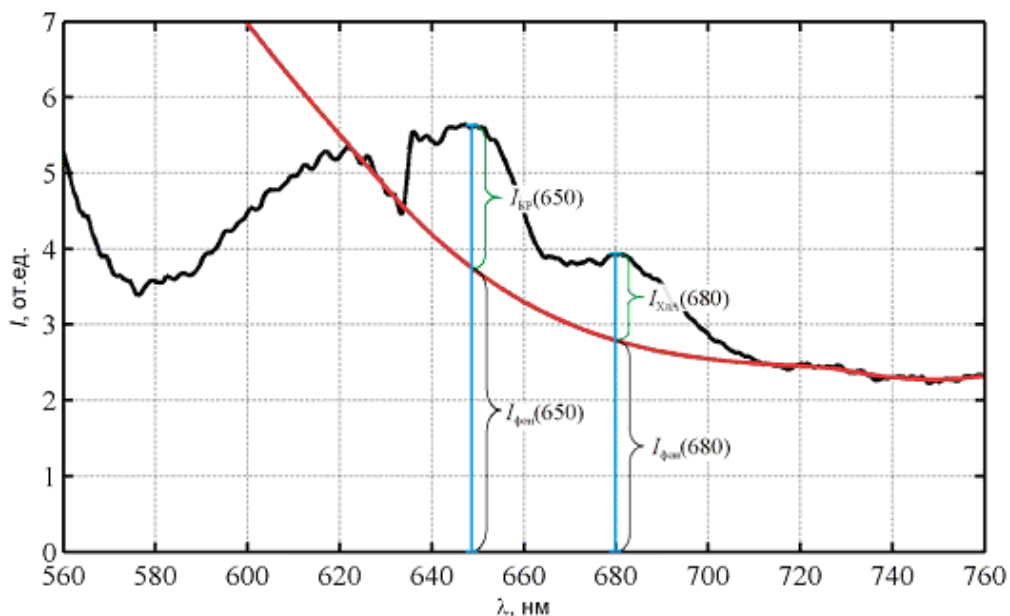


Рисунок 3.20. Спектр флуоресценции морской воды при возбуждении лазерным импульсом с длиной волны 532 нм.

После предварительной обработки спектров, включающей коррекцию спектров на аппаратную спектральную функцию прибора и низкочастотную фильтрацию с целью подавления импульсного шума, производится процедура разделения спектральных компонентов. Спектральная кривая флуоресценции морской воды представляется суммой спектральных линий. Широкополосная линия флуоресценции РОВ, аппроксимируется функцией вида:

$$I_{POB}(\lambda) = a_{POB} \cdot \exp(-b_{POB} \cdot \lambda) \quad (3.8)$$

Линии КР воды, флуоресценции Хлорофилла а и других пигментов, аппроксимируются гауссианами:

$$I_K(\lambda) = a_K \cdot \exp\left(-\left(\frac{\lambda - \lambda_K}{b_K}\right)^2\right) \quad (3.9)$$

где a_K – амплитуда флуоресценции K -того биооптического компонента или КР воды;

b_K – коэффициент, отвечающий за ширину функции Гаусса;

λ_K – положение гауссиана по шкале длин волн.

Коэффициенты функций, описывающих компоненты ЛИФ спектра, определялись методом нелинейных наименьших квадратов. На рис. 3.21 представлено разложение спектра на отдельные компоненты.

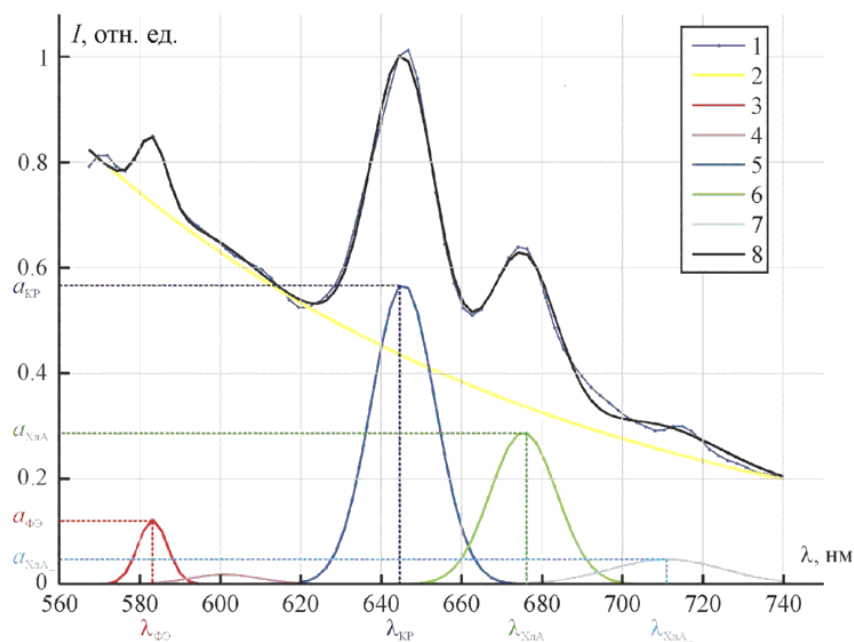


Рисунок 3.21. Разложение спектра ЛИФ на отдельные компоненты

1 – исходный спектр, 2 – флуоресценция РОВ, 3 – флуоресценция фикоэретрина, 4 – флуоресценция производных Хлорофилла а, 5 – КР воды, 6 – флуоресценция Хлорофилла а, 7 – плечо флуоресценции Хлорофилла а, 8 – аппроксимированный спектр

Расчет концентрации Хлорофилла а производится по формуле:

$$C = k \cdot \Phi_0 = k \cdot a_{ХЛА} / a_{КР} \quad (3.10)$$

где k – калибровочный коэффициент, определяемый из сравнения со стандартными измерениями концентрации Хлорофилла а;

Φ_0 – отношение интенсивности ненасыщенной флуоресценции хлорофилла «а»;

$a_{ХЛА}$ – интенсивность линии флуоресценции хлорофилла «а» в разложении по биооптическим компонентам)

$a_{КР}$ – интенсивность линии КР воды. В качестве исходного значения k , используется полученное ранее значение:

$$k=2.3;$$

3.3.6 Методика обработки панорамных изображений поляризационной видеосистемы.

Видеосистема является частью программно аппаратного комплекса контроля состояния морской поверхности прибрежной зоны [1-5]. Угол поворота камеры при формировании отдельных кадров и количество кадров, определяющие угловые размеры панорамы, задаются в качестве входных параметров программы управления камерой и могут быть изменены по сети удаленно. Применение шагового двигателя позволяет использовать метод дискретного углового позиционирования видеосистемы, при котором изображение каждого фрагмента панорамы формируется при однозначно определенном положении камеры.

Достоинства такого метода проявляются как при формировании общей панорамы из составляющих ее кадров, так и в процедуре “привязки” изображения к географическим координатам. Поскольку в каждый момент захвата фрагмента известны ориентация видеосистемы относительно географической системы координат и высота расположения камеры, то можно трансформировать панорамное изображение на уровень поверхности моря.

Применение цифровой обработки изображений к временной последовательности панорамных изображений с привязкой к географической системе координат позволяет оценить положение и размеры изучаемых объектов и их динамические характеристики. Это скорость перемещения органической пленки [1, 2] и изменения ее площади, фазовая скорость распространения внутренних волн, скорость перемещения вихря как целого и структура поля скоростей внутри тела вихря [2]. Кроме того, на множестве изображений отчетливо проявляются турбулентно возмущенные ветром и перемещающиеся со скоростью ветра области морской поверхности – так называемые “кошачьи лапки”. По направлению и скорости их перемещения можно получить оценку поля ветра [3] в приводном слое атмосферы и составить прогноз распространения загрязняющих морскую поверхность органических пленок. Пример панорамы акватории бухты Витязь приведен на рисунке 3.22 а, а ее трансформированная форма – на рисунке 3.22 б.

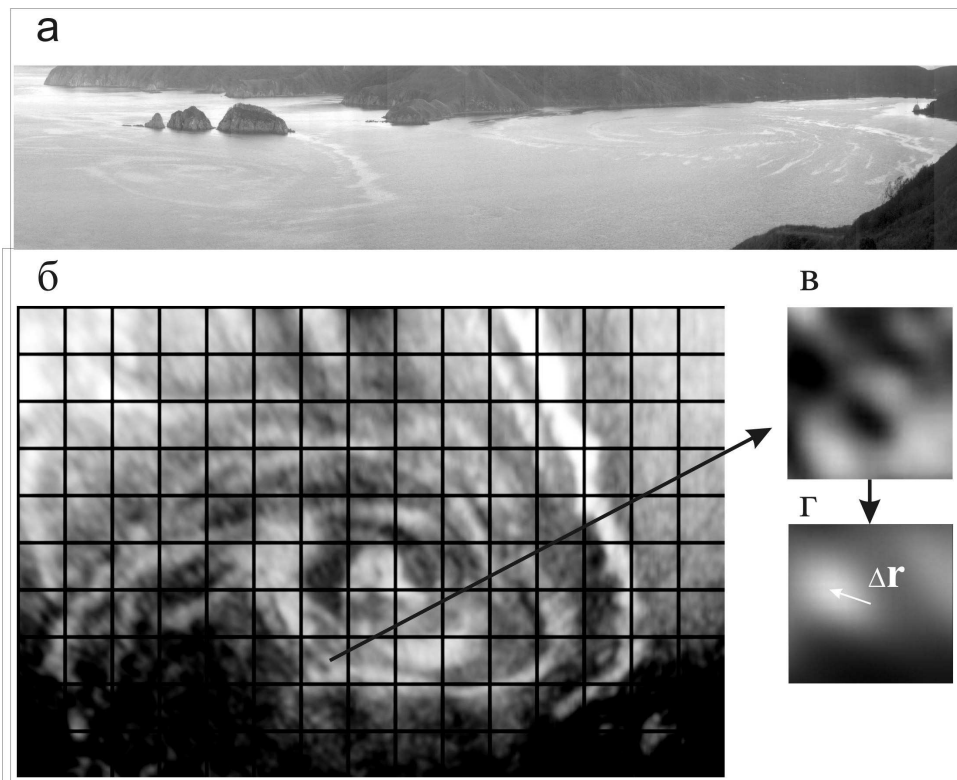


Рис. 3.22. Изображение микромасштабных вихрей на морской поверхности.

а – панорамный снимок бухты Витязь; б – проекция антициклонического вихря на уровненную поверхность моря; в – фрагмент морской поверхности (МП); г – тоновое изображение кросс-корреляционной матрицы для фрагмента в.

Для оценки поля скоростей перемещения обнаруженных объектов по упорядоченной во времени системе панорамных изображений используется метод МСС (Maximum Cross Correlation). Не вдаваясь в детали самого метода, подробное описание которого можно найти в [6, 7], схематично опишем его основные этапы. На первом этапе автоматизированной процедуры применения метода МСС осуществляется фрагментация исходного изображения на квадраты, размеры которых несколько превышают характерные размеры оптических неоднородностей. При этом геометрические центры фрагментов находятся в узлах регулярной сетки. На втором этапе для каждого фрагмента исходного изображения в окрестностях его геометрического центра, но уже на последующем изображении, методами корреляционного анализа двумерных изображений ищется подобный по текстуре фрагмент МП. В качестве критерия подобия фрагментов на исходном и последующем изображениях МП используется величина коэффициента кросс-корреляции. На рисунке 3.22 в приведены изображения одного из фрагментов МП с рисунка 3.22 б и яркостное изображение кросс-корреляционной матрицы (рисунок 3.22 г), на которой стрелкой отмечен вектор смещения максимума коэффициента корреляции относительно центра исходного фрагмента изображения МП. Величина и

направление вектора соответствуют смещению Δr яркостной неоднородности на выбранном фрагменте за межкадровый период Δt за счет адвекции оптических неоднородностей поверхностным течением. Расчет вектора скорости поверхностного течения производится в этом случае по формуле:

$$V = k \frac{\Delta r}{\Delta t}$$

где k – пиксельное разрешение изображения в м/пиксель

Применяя эту процедуру ко всем фрагментам поверхности можно получить поле скоростей поверхностных течений на равномерной сетке всего изображения МП.

3.3.7 Структура, состав и реализация базы данных измерительной системы

База данных измерительной системы является объектной. Архив накопленных данных фактически представляет собой набор файлов. Имя файла содержит информацию о дате и времени измерения. Файлы базы данных имеют открытый нешифрованный формат. В заголовке файла указаны координаты выполненных измерений и список записанных параметров. Тело файла содержит данные о глубине и результатах измеренных и вычисленных параметрах фотосинтеза фитопланктона. Открытый формат файлов позволяет свободно распространять информацию между пользователями базы данных, а также файлы базы данных могут быть легко открыты в широко-распространённых программах обработки табличных данных.

База данных состоит из двух составляющих: оболочки пользователя для поиска и визуализации данных и архива накопленных данных. Данные могут быть добавлены в базу данных только через программное обеспечение волоконно-оптической системы измерения концентрации и состояния фитопланктона. Визуализация данных представляется в табличном виде и графическом. Табличный вывод содержит двумерный массив по шести измеряемым параметрам. Реализация базы данных выполнена в системе программирования LabVIEW (National Instruments, США) в виде отдельной программы.

Структура файла базы данных предусматривает следующие поля:

F_0 – минимальный выход флуоресценции в исходном состоянии;

F_m – максимальный выход флуоресценции в исходном состоянии;

F_m' – максимальный выход флуоресценции под воздействием актиничного излучения;

F_s – выход флуоресценции при частично восстановленных реакционных центрах;

F_0' – минимальный выход флуоресценции после воздействия актиничного излучения;

Поиск данных выполняется по датам выполненных исследований и указателю глубины, кроме них в интерфейсном окне так же выводится информация о времени и координатах выполненных измерений. Графический вывод данных выполняется в виде графиков распределения по глубине трёх параметров:

F_0 – минимальный выход флуоресценции в исходном состоянии (концентрация);

$(F_m - F_0)/F_m$ - эффективность фотосинтеза (переменная флуоресценция);

$(F_m - F_s)/(F_m - F_0)$ - фотохимическое тушение.

3.4 Выводы по разделу

Объединение гидроакустической, лидарной и оптоволоконной измерительной аппаратуры в один комплекс, позволяет упорядочить данные, получаемые каждой системой и объединить их в единую базу данных, с соответствующей калибровкой. Объединение измерительного комплекса на базе маломерного судна с видеокамерами, установленными на берегу, позволяет существенно увеличить оперативность и мобильность мониторинга акваторий. Объединение данных различных методов исследований позволяет сделать измерения точными и уменьшить ошибки, возникающие из-за недостатков отдельных методов измерения.

Литература к разделу 3.

1. Кульчин Ю.Н., Букин О.А и др. Комплексный контроль состояния морских акваторий оптическими методами. Часть 1. Концепция построения многоуровневых измерительных систем для экологического мониторинга прибрежных акваторий// Оптика атмосферы и океана, 2012, т.25, №7, стр. 633-637
2. Константинов О.Г, Павлов А.Н. Комплексный контроль состояния морских акваторий оптическими методами. Часть 2. Регистрация загрязнений на морской поверхности.// Оптика атмосферы и океана, 2012, т.25, №10, стр. 902-908
3. Константинов О.Г, Павлов А.Н. Комплексный контроль состояния морских акваторий оптическими методами. Часть 2. . Регистрация динамических процессов по слайкам на морской поверхности.// Оптика атмосферы и океана, 2012, в печати
4. Гамаюнов Е.Л. и др. Комплексный контроль состояния морских акваторий оптическими методами. Часть 4. Опто-волоконная система измерения концентрации фитопланктона// Оптика атмосферы и океана, т.26, № 1, 2013, в печати
5. Константинов О.Г., Павлов А.Н. Видеосистема контроля состояния морской поверхности// Приборы и техника эксперимента, 2012, №6, с. 121-123

6. R. M. Ninnis, W. J. Emery and M. J. Collins Automated extraction of pack ice motion from advanced very high resolution radiometry.// J. Geophysical Res. 1986. 91, 10, p.725-734
7. M. M. Bowen, W. J. Emery, J. Wilken, P. C. Tildesley, I. J. Barton, and R. Knewton. Extracting multi-year surface currents from sequential thermal imagery using the maximum cross correlation technique // J. Atmos. Ocean. Technol., vol. 19, no. 10, pp. 1665–1676, 2002.

4. Рекомендации по использованию полученных результатов, в том числе в реальном секторе экономики, а также в дальнейших исследованиях и разработках

4.1 Анализ возможности использования измерительного комплекса в реальном секторе экономики

Основной целью использования измерительного комплекса является осуществление экологического мониторинга. Определение экологического мониторинга или мониторинга окружающей среды законодательно определено в Федеральном законе от 10 января 2002 года № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» и Федеральном законе от 19 июля 1998 года N 113-ФЗ «О гидрометеорологической службе». Мониторинг окружающей среды (экологический мониторинг) - комплексная система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов. Государственный мониторинг окружающей среды (государственный экологический мониторинг) осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации и законодательством субъектов Российской Федерации в целях наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе за состоянием окружающей среды в районах расположения источников антропогенного воздействия, и воздействием этих источников на окружающую среду, а также в целях обеспечения потребностей государства, юридических и физических лиц в достоверной информации, необходимой для предотвращения и (или) уменьшения неблагоприятных последствий изменения состояния окружающей среды.

Полномочия по осуществлению экологического мониторинга возложены как на органы государственной власти Российской Федерации, так и на субъекты Федерации (Федеральным законом от 10 января 2002 года № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»). Государственный экологический надзор осуществляется уполномоченными федеральными органами исполнительной власти (федеральный государственный экологический надзор) и органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации (региональный государственный экологический надзор) согласно их компетенции в соответствии с законодательством Российской Федерации в порядке, установленном соответственно Правительством Российской Федерации и высшим исполнительным органом государственной власти субъекта Российской Федерации. Со стороны федеральных органов исполнительной власти работы по экологическому мониторингу осуществляет территориальные органы Росгидромета.

Мониторинг экологического состояния акваторий является важной частью рационального природопользования. Рациональное природопользование рассматривает не только задачи непосредственного сохранения экологического состояния, но и правила

экономического воздействия на экологические объекты. Правильная оценка экологического состояния акваторий выполняется с учетом их биологического благополучия, оценку которого наиболее просто можно выполнить на основе анализа благополучия микроводорослей – фитопланктона.

В сфере материального производства разработанный комплекс может найти применение в следующих областях экономики:

- прогнозирование и квотирование объемов добычи морских биоресурсов;
- определение экономической ценности акваторий, при осуществлении торгов;
- выбор места для размещения промышленных комплексов, или баз отдыха;
- осуществление мероприятий рационального природопользования.
- осуществление закупок сложного импортного оборудования для осуществления мониторинга, выполнения научных исследований, проведения лабораторных анализов и т.п.

Фитопланктон является первичным звеном в цепочке питания промысловых видов рыб, моллюсков, млекопитающих. Построение качественных прогнозов добычи не возможно без учета распространения и объемов воспроизводства микроводорослей фитопланктона.

При покупке прав на вылов рыбы в определенных акваториях полезно осуществлять предварительный анализ продуктивности этих акваторий при помощи измерительного комплекса. При этом можно не только сделать вывод о необходимости покупки, но и снизить цену, если экологическое состояние акватории не будет соответствовать нормам.

Размещение промышленных объектов должно производиться согласно приказу Минприроды России от 21.11.95 № 469 «Об учете экологического фактора при приватизации государственных и муниципальных предприятий, организаций». Распоряжение от 08.06.95 № 791-р/1 «Об учете экологического фактора при приватизации государственных и муниципальных предприятий, организаций», зарегистрировано Минюстом России 26.06.95 рег. № 884.

С помощью разработанного комплекса, можно быстро определять благополучные места с богатой морской фауной для размещения водолазных станций и баз отдыха.

Широкое внедрение в практику мониторинга аналогичных измерительных комплексов и лабораторий потребует совершенствования законодательной базы, регулирующей вопросы природопользования и прежде всего использования водных ресурсов. В эту базу входят такие документы как:

- водный кодекс Российской Федерации от 16.11.95 № 167-ФЗ;
- федеральный закон Российской Федерации «О плате за пользование водными объектами» № 71-ФЗ от 15.04.98;
- преюскурант 03-03 Госкомцен СССР;

- постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении минимальных и максимальных ставок платы за пользование водными объектами по бассейнам рек, озерам, морям, экономическим районам» (от 22.07.98 № 818);

- инструкция Госналогслужбы России от 12.08.98 № 46 «О порядке исчисления и внесения в бюджет платы за пользование водными объектами».

Учет и экономическая оценка природных ресурсов, и водных объектов осуществляется согласно следующим актам:

- государственный кадастр месторождений и проявлений полезных ископаемых. Инструкция по ведению кадастра и методическое руководство по составлению паспортов. М.: Союзгеолфонд Мингео СССР, 1980;

- постановление Правительства Российской Федерации от 23.11.96 № 1403 «О введении государственного водного кадастра»;

- порядок оценки земли, природных ресурсов, зданий и сооружений, вносимых советскими участниками в счет вкладов советской стороны в уставной фонд совместных предприятий (утверждены Госкомцен СССР, Госпланом СССР, Минфином СССР, МВТ СССР и ГКЭС СССР 10.09.97);

- распоряжение Заместителя Председателя Совета Министров Правительства Российской Федерации от 07.05.93. № 58-рз «О совершенствовании количественного и качественного учета природных ресурсов»;

- методика экономической оценки важнейших видов природных ресурсов в странах - членах СЭВ. М.: СЭВ. 1985.

Указанные документы предусматривают выполнение мониторинга водных акваторий по содержанию в воде различных органических и неорганических веществ. При этом, в большинстве случаев, контроль за состоянием микроводорослей не выполняется. Это является следствием отсутствия эффективных средств для выполнения таких измерений в период подготовки таких документов.

4.2 Использование измерительного комплекса при проведении научных исследований

Разработанный измерительный комплекс может выполнять задачи научных исследований, которые тесно связаны с задачами экологического мониторинга и с изучением фитопланктона. Научные исследования в области охраны окружающей среды проводятся в целях социального, экономического и экологически сбалансированного развития Российской Федерации, создания научной основы охраны окружающей среды, разработки научно обоснованных мероприятий по улучшению и восстановлению окружающей среды,

обеспечению устойчивого функционирования естественных экологических систем, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов, обеспечению экологической безопасности. Измерительный комплекс может использоваться в научных исследованиях, когда требуется:

- разработка концепций, научных прогнозов и планов сохранения и восстановления окружающей среды;

- оценка последствий негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду;

- совершенствование законодательства в области охраны окружающей среды, создание нормативов, государственных стандартов и иных нормативных документов в области охраны окружающей среды;

- разработка и совершенствование показателей комплексной оценки воздействия на окружающую среду, способов и методов их определения;

- разработка и создание наилучших технологий в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов;

- разработка программ реабилитации территорий, отнесенных к зонам экологического бедствия;

- разработка мероприятий по сохранению и развитию природного потенциала и рекреационного потенциала Российской Федерации;

Научные исследования в области охраны окружающей среды проводятся научными организациями в соответствии с федеральным законом о науке и государственной научно-технической политике.

4.3. Перспективы развития и применения разработанного измерительного комплекса

Каждый из исследованных методов мониторинга акваторий имеет свои преимущества и недостатки. Большие перспективы имеет создание комплексов, включающих видеооптические, оптоволоконные, лидарные и гидроакустические измерительные средства, которые обеспечивают многосторонний анализ оптических и акустических спектров рассеяния и флуоресценции в широком диапазоне длин волн при использовании различных методов измерения. Это позволит получить максимально большой объем информации о составе присутствующих в воде органических и неорганических веществ и использовать все преимущества каждого из методов.

Интенсивности интересующих нас сигналов обычно имеют очень низкое значение и могут быть зашумлены посторонними сигналами и помехами. Для предотвращения помех и улучшения параметров измерительного комплекса можно использовать следующие меры:

- применить в качестве источников излучения лазерные светодиоды с высокой плотностью излучения;
- использовать интерференционные фильтры, для выделения сигнала на интересующих длинах волн;
- использовать новейшие приемники с высокой чувствительностью в интересующей областях спектра;
- использовать импульсные методы измерения, для разделения во времени сигналов возбуждения и флуоресценции.

Объединение гидроакустической, лидарной и оптоволоконной измерительной аппаратуры в один комплекс, позволит упорядочить данные, получаемые каждой системой и объединить их в единую базу данных, с соответствующей калибровкой. Объединение измерительного комплекса на базе маломерного судна с видеокамерами, установленными на берегу, позволит существенно увеличивает оперативность и мобильность мониторинга акваторий. Объединение данных различных методов исследований позволит сделать измерения точными и уменьшить ошибки, возникающие из-за недостатков отдельных методов измерения.

4.4 Выводы по разделу

Мониторинг за количеством фитопланктона и его биологическим состоянием позволяет выполнять различные природоохранные и природопользовательские анализы и прогнозы, способствует правильной оценке экологического состояния и экономической перспективности территорий, включающих в себя водные акватории и ресурсы. Особенно важным является контроль за экологическим состоянием и продуктивностью водных объектов, в том числе включенных в хозяйственную деятельность человека. При этом широко распространенные средства мониторинга концентрации Хлорофилла а для оценки содержания в воде микроводорослей фитопланктона не позволяют делать обоснованные выводы о благополучии экологического состояния акватории. Существенно повысить надежность оценки экологического состояния водных объектов позволяют измерения параметров фотосинтеза фитопланктона, которые дают характеристику не только его концентрации, но и его физиологического состояния. Измерения таких параметров с помощью разработанного

комплекса позволяет в реальном времени осуществлять мониторинг достаточно больших акваторий, к которым относятся: реки, озера, водохранилища, морские заливы, бухты, лиманы.

Широкое внедрение в практику мониторинга аналогичных измерительных комплексов и лабораторий потребует совершенствования законодательной базы, регулирующей вопросы природопользования и, прежде всего, использования водных ресурсов.

Объединение измерительного комплекса на базе маломерного судна с видеокамерами, установленными на берегу, позволит существенно увеличивает оперативность и мобильность экологического мониторинга акваторий. Измерительный комплекс позволяет выполнять широкий спектр научных исследований в области экологии, изменения окружающей среды, биологии, океанологии, космических методов исследования Земли и др.

5. Оценка рыночного потенциала полученных результатов

5.1 Рыночный потенциал реализации разработанного измерительного комплекса

5.1.1 Анализ рыночного потенциала.

Анализ рыночного потенциала позволяет понять, есть ли у рассматриваемого продукта реальный шанс на успех, соответствует ли продукт (проект) определенным потребностям рынка, оценить механизмы, которые транслируют новую технологическую возможность на рынок. Успешная коммерциализация разработки требует знания рынка, на котором предполагается ее внедрять. Очень важно уметь организовать рыночные взаимодействия и применять инструментарий маркетинга. Оценка рыночного потенциала складывается из:

- оценки емкости рынка, т.е. максимально возможного размера рынка для конкретного продукта/технологии;
- оценки потребителей (в т.ч. наличие постоянных покупателей, клиентских отношений и т.п.),
- оценки конкурентоспособности;
- оценки деловой репутации;
- наличия товарных знаков, знаков обслуживания, брендов и т.п.

5.1.2 Оценка емкости рынка

Введение в действие законов об экологическом мониторинге обязывает все территориальные органы, в которых имеются водные ресурсы, осуществлять их мониторинг. В настоящее время в стране образовано 156 юридических объектов, занимающихся мониторингом водных ресурсов (см. приложение Д). Для решения этой задачи потребуется закупка измерительных лабораторий в большом количестве. Для количественной оценки потребности в измерительных комплексах для мониторинга морских акваторий воспользуемся рассчитанной в Приложении Г производительностью выполнения измерений.

Неполный список морских акваторий имеющих большое промысловое значение в РФ приведен в таблице 5.1. Для эффективного контроля и правильной эксплуатации этих природных ресурсов необходим их постоянный мониторинг. В таблице 5.1 приводится расчетное количество комплексов требуемых для выполнения мониторинга в течение навигационного периода – 7 месяцев (210 дней). При этом предполагалось, что производительность комплекса составляет 4 км² за рабочий день (8 часов), а периодичность выполняемых измерений составляет 1 раз в три дня.

Таблица 5.1

Расчетное количество измерительных комплексов, требуемых для мониторинга
промысловых морских акваторий в РФ

	Название акватории	Площадь, км ²	Количество комплексов, тыс. шт.	Примечание
1	Азовское море	37.8	1,81	
2	Баренцево море	1424.0	68,27	
3	Белое море	90	4,31	
4	Залив Петра Великого	6.0	0,28	
5	Каспийское море	3626.0	173,84	
6	Озеро Байкал	31.7	1971,55	
7	Финский залив	29.5	1968,53	
8	Черное море	422000.0	20232,88	

Результаты расчета еще раз подтверждают высокую стоимость и трудоемкость выполнения контроля водных акваторий, необходимость большого количества технических средств для мониторинга указанных акваторий. Конечно, приведенные в таблице результаты получены на основе упрощенного расчета, можно существенно уменьшить общее количество требуемых измерительных комплексов за счет разработки специальных региональных планов и стратегий мониторинга, использования дополнительных средств обнаружения проблемных областей, о чем уже было написано в разделе 3.3. Оптимизация использования измерительных комплексов позволит уменьшить их потребность в 10 – 20 раз, но и в этом случае понадобится изготовить тысячи штук в год в течение 5 - 10 лет, для налаживания полноценного мониторинга морских акваторий. Отдельной проблемой является обеспечение мониторинга закрытых пресноводных водоемов и рек. Здесь более эффективными могут оказаться небольшие малогабаритные комплексы, при разработке которых может быть использован опыт и технические решения, полученные в процессе исполнения настоящего контракта.

Средства для измерения жизнедеятельности фитопланктона в Российской Федерации в настоящее время серийно не выпускаются. В большинстве случаев для выполнения измерений используются приборы, закупаемые за рубежом или изготавливаемые в единичных экземплярах в лабораториях и мастерских. Серийное изготовление эффективных технических средств для выполнения измерений параметров жизнедеятельности в акваториях в нашей стране является чрезвычайно актуальной задачей, требующей возможно быстрого решения.

5.1.3 Оценка потребителей

В настоящее время, измерение концентрации фитопланктона и параметров его жизнедеятельности при обследовании акваторий выполняется научными сотрудниками академических и отраслевых научно-исследовательских институтов. Такие работы, как правило, финансируются из бюджета государственных и реже территориальных органов. Имеющиеся на рынке приборы и лаборатории комплектуются флуоресцентными измерителями концентрации хлорофилла, которые не позволяют правильно оценить экологическое благополучие прибрежных и малых акваторий. Использование таких измерителей трудоемко и требует больших временных и материальных затрат. Кроме того, для правильной их эксплуатации, обработки и интерпретации результатов измерений необходима высокая профессиональная готовность обслуживающего персонала.

Развитие системы мониторинга и перенос основных работ по обследованию и контролю экологического состояния акваторий в региональные организации потребует совершенствования существующего оборудования и методов работы с ним. Потребуется, прежде всего, простые в эксплуатации автоматизированные комплексы, выполняющие множественные измерения и многосторонний анализ собранной измерительной информации.

Использование разработанного комплекса и его модификаций будет также эффективно в организациях:

- занимающихся исследованиями в области моделирования биологических процессов связанных с фитопланктонными сообществами;
- формирующих прогнозы для рыбопромысловых кампаний (карты биопродуктивности морских регионов);
- эксплуатирующих объекты водоснабжения;
- осуществляющих мониторинг внутренних и внешних акваторий.

5.1.4 Оценки конкурентоспособности

Конкурентными преимуществами настоящей разработки являются:

1. Получение первичных данных о состоянии обследуемой акватории в процессе выполнения исследований.
2. Измерение не только концентрации, но и параметров жизнедеятельности фитопланктона как естественного индикатора состояния акватории.
3. Выполнение измерений не только в дрейфе судна, но и при его движении.
4. Активное взаимодействие с береговыми автоматическими видеокамерами.

Конкурентные преимущества проекта в целом:

- высокая мобильность комплекса в районе исследований за счёт установки на маломерных судах;
- на порядок более высокая производительность выполнения измерений при обследовании больших территорий по сравнению с существующими погружаемыми средствами;
- выполнение комплексных исследований с помощью гидролидара, гидроакустического локатора, флуориметра и видеокамеры;
- возможность гибкого управления и оптимизации работы в районе обследования в зависимости от результатов мониторинга в реальном времени;
- низкая стоимость по сравнению с зарубежными аналогами.

5.1.5 Сравнение с конкурирующими технологиями, продуктами и аналогами.

Основные конкурирующие компании - Turner Designs (США), WetLabs (США), Sea Bird Electronics Inc. (США), Yellow Springs Inc. (США), RBR (Канада), WALZ (Германия). Часть компаний выпускает и продает отдельные приборы, например - погружные флуориметры, ориентированные на флуоресцентные измерения концентрации хлорофилла в акваториях стоимостью 2 тыс. долларов. Оборудование производства WALZ (стоимостью от 40 тыс. евро) позволяет измерять параметры фотосинтеза фитопланктона, но требует обязательного управления оператором-водолазом. Все погружные флуориметры применимы при остановке судна носителя и требуют отдельной дальнейшей обработки данных, что требует значительного времени и отрицательно сказывается на оперативности выполнения работ при исследовании состояния акватории.

Флуорометрические исследования океанической поверхности сканерами цвета, такими как SeaWiFS, MODIS и др, охватывают очень большие районы исследования, но при этом они выдают результаты только для поверхностного слоя воды, причём с погрешностями в сотни процентов. Кроме того, спутниковые измерения невозможно применять при оценке экологического состояния малых акваторий (бухты, озера, водохранилища). Стоимость спутникового мониторинга очень велика и достигает сотни долларов за км².

Использование возможности выполнения измерений во время движения судна, приводит к значительному росту эффективности обследования. В приложении Г приведены расчеты, которые показывают, что сокращение времени обследования больших акваторий может достигать 10 раз.

5.2 Рыночный потенциал реализации результатов исследования акваторий с применением разработанного измерительного комплекса

Реализация результатов исследования акваторий может осуществляться для тех организаций, деятельность которых прямо или косвенно зависит от своевременного обнаружения нарушений экологического состояния акваторий. К таким организациям можно отнести:

- государственные и территориальные органы и лаборатории экологического надзора, список таких организаций приведен в приложении Д;

- научные институты, занимающихся исследованием моделированием биологических процессов связанных с фитопланктонными сообществами;

- отраслевые институты формирующие прогнозы для рыбопромысловых кампаний;

- организации выполняющие водоснабжение и водоотведение.

Указанные организации могут приобретать и самостоятельно использовать разработанный измерительный комплекс, либо получать интересующую их информацию от предприятий специализирующихся в области мониторинга и обследования водных акваторий.

5.2.1 Оценка стоимости изготовления комплекса для мониторинга морских акваторий

В ПРИЛОЖЕНИИ Ж приведен расчет себестоимости макета разработанного комплекса. В результате выполненного расчета себестоимость изготовления в заводских условиях составляет 3 146 тыс. рублей. Столь значительная величина стоимости в большой степени объясняется ценой использованных импортных комплектующих: лазера (1.3 млн. руб.), оптоволоконных датчиков (439 тыс. руб.), оптических волокон большого диаметра (149 тыс.руб.), фотоумножителя (79 тыс.руб.). Анализ рынка показывает, что существенно снизить цену на 30 -40 % можно при использовании отечественных комплектующих при условии организации их производства в РФ.

5.3 Выводы по разделу

Разработка теоретических основ и работоспособного макета комплекса для исследования содержания и параметров фотосинтеза фитопланктона в акваториях позволяет выполнить краткий анализ рыночного потенциала, который дает право определить его как значительный. Объемы реализации разработки составляют тысячи изделий в год в течение 5 – 10 лет. Пользователями такого комплекса в настоящее время могут быть организации выполняющие мониторинг и обследование экологического состояния и экономического потенциала морских и внутренних акваторий. **Оценка стоимости разработанного** комплекса для его реализации на рынке на данном этапе представляется затруднительной, в связи с необходимостью проведения

опытно-конструкторских работ и возможно дополнительных научных исследований, направленных на поиски технических решений обеспечивающих снижение стоимости дорогостоящих комплектующих (прежде всего лазера и спектрометра с оптоэлектронным усилителем).

Развитие законодательства в области эксплуатации и охраны водных ресурсов потребует внедрения в практику экологического мониторинга новых эффективных средств для быстрой оценки экологического благополучия акваторий, что возможно путем измерения параметров жизнедеятельности микроводорослей – фитопланктона. Использование результатов настоящего проекта позволит создать и организовать серийное изготовление таких технических средств различного класса, которые обеспечат новый уровень измерений и позволят существенно, в десятки раз, сократить время обследования и уменьшить стоимость выполнения мониторинга.

6. Достижение заданных значений программных индикаторов

6.1 Услуги УСУ ЛаМИ предоставленные сторонним предприятиям

В регионе существует большое количество научных и производственных организаций заинтересованных в получении результатов исследований или выполнении собственных научно-поисковых работ в области изучения поведения и изменчивости микроводорослей фитопланктона как биологического объекта, или как первичного кормового звена в цепи питания промысловых видов рыб, моллюсков, млекопитающих.

На 4 этапе продолжалось выполнение работ по ранее заключенным договорам с организациями-пользователями (7 организаций), акты о предоставлении услуг которым были представлены в отчете по 3 этапу госконтракта. Акты об оказании услуг за период 06.2012 – 12.2012, будут оформляться в декабре 2012 г., после завершения работ по соответствующим договорам. Дополнительные договоры с организациями-пользователями на 4 этапе выполнения госконтракта не заключались. В 2012 г. услугами УСУ ЛаМИ воспользовались следующие предприятия:

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток, ул. Балтийская 43.

Пользователями УСУ являются 4 лаборатории ТОИ ДВО РАН: лаборатория лазерной оптики и спектроскопии, лаборатория гидрохимии, лаборатория взаимодействия океана и атмосферы, лаборатория гидрофизики. В отчетной форме пользователей размещены данные по лаборатории лазерной оптики и спектроскопии, поскольку по условиям контракта учитывается лишь одно структурное подразделение. Этой лаборатории оказаны услуги по предоставлению стендов и аппаратуры (стенд лазерной флуориметрии, лазерный проточный флуориметр, гиперспектральный фотометр восходящего излучения моря, солнечный фотометр, гидрологический зонд), а также услуги методического сопровождения измерений на перечисленной аппаратуре. В настоящее время этой лабораторией при поддержке сотрудников УСУ ЛаМИ с использованием аппаратного парка УСУ ЛаМИ проводятся исследования пространственной изменчивости характеристик полей фитопланктона в акватории Японского моря на парусном учебном судне Морского государственного университета (г. Владивосток) ПУС «Надежда».

2. Уссурийская астрофизическая обсерватория (УАФО), Приморский край, Уссурийский район, п. Горнотаежное, ул. Солнечная 21.

По заказу УАФО ведется мониторинг спектрального состава прямой солнечной

радиации. Работы проводятся в рамках интеграционного проекта отделений Российской академии наук по исследованию свойств атмосферного аэрозоля.

3. Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского. 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50а.

Пользователями УСУ являются два института: Морской физикотехнический институт и Институт защиты моря. В рамках договора сотрудниками УСУ оказывается методическое сопровождение работ по исследованию флуоресцентных свойств клеток фитопланктона и их фотосинтетического аппарата на стенде лазерной индуцированной флуоресценции, флуориметре многочастотного возбуждения и с помощью проточного флуориметра, в том числе в рамках морских экспедиций. Совместно с сотрудниками УСУ ЛаМИ осуществляется деятельность по мониторингу загрязнений залива Петра Великого.

4. Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с. Паратунка Камчатского края, ул. Мирная 7.

Пользователь услуг УСУ ЛаМИ – лаборатория физики атмосферы. По заказу пользователя осуществляется мониторинг стратосферного и тропосферного аэрозоля, проводятся консультации и настройка аппаратуры лазерного зондирования атмосферы для выполнения программ института и грантов ДВО РАН.

5. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии Дальневосточного отделения РАН, Владивосток, просп. 100-летия Владивостоку, 159.

Основным пользователем услуг УСУ ЛаМИ является лаборатория светотрансформирующих материалов. Для лаборатории оказывались и оказываются услуги по исследованию нелинейных свойств кристаллов и их триболюминисценции. При проведении исследований используются стенды лазерной индуцированной флуоресценции и лазерной искровой спектроскопии.

6. ООО Институт медицинской физики им. У.Х. Копвиллема г. Владивосток, Партизанский проспект 3б. В рамках оказания услуг используется сверхскоростная камера стенда лазерной индуцированной флуоресценции для фиксирования изображений костной ткани и ее трансформации в процессе воздействия на нее лазерного излучения.

7. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет», г. Владивосток, ул. Луговая 52 б.

Пользователю оказываются услуги в области исследования пространственного распределения полей фитопланктона по спутниковым данным и методами подспутниковых измерений концентрации хлорофилла «а» (судовая лазерная проточная флуориметрия).

С указанными предприятиями заключены договоры об оказании услуг и подписаны акты

о выполнении работ УСУ ЛаМИ в периоды 01.01.2012 – 15.05. 2012.

6.2 Публикации по тематике выполненных исследований

В период выполнения 1 – 3 этапов настоящего контракта были подготовлены и направлены в редакции ведущих научных журналов ряд публикаций, содержащих результаты интеллектуальной деятельности, полученные при выполнении исследований. В отчете за 2 этап было зафиксировано опубликование 3 статей. Большая часть статей была подготовлена и направлена в редакции журналов в период выполнения 3 этапа госконтракта, о чем было сказано в отчете за 3 этап, в разделе, посвященном анализу выполнения заданных значений индикаторов. В таблице 6.1 перечислены статьи, опубликованные и принятые к печати в редакциях журналов в период выполнения четвертого этапа настоящего контракта. В этой таблице указано, что вышли из печати 5 статей. Одна статья находится в наборе ноябрьского номера журнала «Оптика атмосферы и океана» – имеется распечатка редакторского варианта, и две статьи приняты редакциями и включены в макеты журналов, которые выйдут из печати в декабре 2012 г. и в январе 2013 г., о чем имеются справки, подписанные главным редактором журнала «Оптика атмосферы и океана».

Следует отметить, что при разработке измерительно-вычислительного комплекса были опробованы и испытаны различные схемы его составляющих подсистем. Особенно это касается гидролидара, при разработке которого был создан компактный макет моностатического лидара с переменной базой (расстояние между оптическими осями приемника и излучателя). В зимний и весенний периоды времени при закрытой морской навигации, отработка методики зондирования и создание программно-математического обеспечения управления режимами лидара и первичной обработки данных зондирования выполнялись на атмосферных трассах с различной конфигурацией и структурой светорассеивающих слоев, особенно в условиях тумана (высокая оптическая толщина и наличие многократного рассеяния). В результате этих работ были определены основные параметры окончательного варианта гидролидара с учетом реальных размеров оптической шахты – фокусное расстояние линзового объектива, лидарная база и апертура полевой диафрагмы, позволяющей менять геометрический фактор лидара при работе в ближней и дальней зонах зондирования. Результаты работ нашли отражение в серии работ по исследованию аэрозоля в планетарном пограничном слое атмосферы.

Всего в период выполнения контракта подготовлено к публикации 11 статей, 8 из которых уже вышли из печати, 3 статьи будут напечатаны в конце 2012 – начале 2013 г.г.

Таблица 6.1

Публикации по тематике выполненных исследований на 4 этапе госконтракта

№	Автор		Наименование публикации		Наименование ведущего научного журнала (издания), опубликовавшего работу	Страна	Дата выхода	Краткое описание связи содержания публикации с результатами работ по госконтракту
	Ф.И.О.	Должность и место работы	на русском языке	на языке оригинала (для публикаций на иностранном языке)				
1.	Майор А.Ю.	В.н.с. лаб. ИАПУ ДВО РАН	Возможность дистанционного обнаружения повышенных концентраций метана в морской воде с использованием методов оптической спектроскопии на подводных телеуправляемых аппаратах		Подводные исследования и робототехника, №2, 2011. С. 43 – 51.	Россия	Декабрь, 2011	Предложен метод определения повышенной концентрации метана методом оптической спектроскопии в проточном варианте флуориметра, разработанного в рамках ГК.

2.	Кульчин Ю.Н.	Директор ИАПУ ДВО РАН	Комплексный контроль состояния морских акваторий оптическими методами. Часть 1. Концепция построения многоуровневых измерительных систем для экологического мониторинга прибрежных акваторий		Оптика атмосферы и океана, 2012, т.25, №7, стр. 633-637	Россия	Июль, 2012	В публикации представлена концепция построения многоуровневых измерительных систем для экологического мониторинга прибрежных акваторий
3.	Константинов О.Г.	С.н.с. ТОИ ДВО РАН	Комплексный контроль состояния морских акваторий оптическими методами. Часть 2. Регистрация загрязнений на морской поверхности.		Оптика атмосферы и океана, 2012, т.25, №10, стр. 902-908	Россия	Октябрь, 2012	В публикации представлена оптическая система регистрации загрязнений на морской поверхности.

4.	Павлов А.Н..	Зав. лаб. ИАПУ ДВО РАН	Комплексный контроль состояния морских акваторий оптическими методами. Часть 3. Регистрация динамических процессов по сликам на морской поверхности		Оптика атмосферы и океана т. 25, № 12, 2012	Россия	Декабрь, 2012	Исследованы явления образования сликов на морской поверхности и их использование для регистрации поверхностной динамики.
5.	Гамаюнов Е.Л.	С.н.с. ИАПУ ДВО РАН	Комплексный контроль состояния морских акваторий оптическими методами. Часть 4. Оптоволоконная система измерения концентрации фитопланктона		Оптика атмосферы и океана, т.26, № 1, 2013	Россия	Январь, 2013	В публикации представлена оптоволоконная система измерения концентрации фитопланктона
6	Букин О.А.	Зав. лаб. ИАПУ ДВО РАН	Исследование радиационных характеристик аэрозоля в азиатской части России		Институт оптики атмосферы им. Зюева СО РАН, 2012. ISBN 978-5-94458-123-5.	Россия	Декабрь, 2012	В монографии представлены результаты лидарного зондирования при использовании схемы зондирования с малой лидарной базой, отработана оптическая схема лидара для зондирования морской поверхности.

7.	Павлов А.Н	Зав. лаб. ИАПУ ДВО РАН	Характеристики структуры и динамики ППС в переходной зоне материк-океан. Часть I. Зимний период"		Оптика атмосферы и океана, т.25, № 8, 2012. с. 694 – 701.	Россия	Август.,2012	В публикации представлены результаты лидарного зондирования при различных структурах светорассеивающих слоев при использовании схемы зондирования с малой лидарной базой, отработана оптическая схема лидара для зондирования морской поверхности.
----	------------	------------------------------	--	--	---	--------	--------------	--

8.	Павлов А.Н	Зав. лаб. ИАПУ ДВО РАН	Характеристики структуры и динамики ППС в переходной зоне материк-океан. Часть II. Летний период.		Оптика атмосферы и океана, т.25, № 11, 2012.	Россия	Ноябрь, 2012	В публикации представлены результаты лидарного зондирования при различных структурах светорассеивающих слоев при использовании схемы зондирования с малой лидарной базой, отработана оптическая схема лидара для зондирования морской поверхности
----	------------	------------------------------	---	--	---	--------	--------------	---

6.3 Привлечение студентов и молодых специалистов для выполнения исследований в рамках контракта

К выполнению исследований и разработок на 4 этапе дополнительно были привлечены молодые специалисты, список которых приведен в таблице 6.2.

Всего к выполнению контракта в 2011 г. было привлечено 7 молодых специалистов, трое из которых являлись студентами последнего курса университета. В июне 2011 г. эти студенты успешно защитили дипломные проекты по тематике настоящего контракта.

В 2012 году было привлечено 7 молодых специалистов, двое из которых являлись студентами последнего курса университета. В июле 2012 г. к работе были привлечены еще два студента последнего курса университета.

Таблица 6.2

Молодые специалисты, привлеченные к выполнению исследований и разработок в июле - ноябре 2012 г.

№	ФИО	Дата рождения	ИНН	Наименование организации	Занимаемая должность	Образование (высшее / среднее профессиональное образование / последний курс учреждения профессионального образования)	Ученая степень
Молодые специалисты, начавшие участвовать в работах по контракту на 4-м этапе							
1.	Понастов Георгий Антонович	27.12.1990	250210263155	ИАПУ ДВО РАН	Лаборант	Последний курс университета	нет
2.	Слесарев Николай Юрьевич	25.03.1992	253003145078	ИАПУ ДВО РАН	Лаборант	Последний курс университета	нет

6.4 Закупка оборудования

На отчетном 4 этапе выполнения контракта закупка оборудования не осуществлялась. Были выполнены закупки комплектующих и расходных материалов необходимых для модернизации и эксплуатации измерительного комплекса на сумму 7622 руб.

Как было показано в п. 3.2, для повышения чувствительности флуориметра необходимо было провести замену ранее установленных в нем мощных полупроводниковых светодиодов на лазерные светодиоды. Синие лазерные диоды (445 нм) большой мощности (~ 1 Вт) производятся компаниями «Nichia» – Япония и «OSRAM» – Германия. Данные устройства имеют большую плотность потока мощности светового излучения, при этом их входные характеристики (ток ~ 1,2 А; напряжение ~ 3,2 - 4 В) незначительно отличаются от соответствующих характеристик полупроводниковых светодиодов. Среди дистрибьюторов, занимающихся продажей мощных лазерных светодиодов в России, была выбрана фирма ООО «LaC», поставщик диодов фирмы «Nichia». Договор на поставку лазерных диодов стоимостью 5130 рублей был заключен 15 августа 2012. Поставка диодов была выполнена в сентябре 2012 года. Испытания модернизированного флуориметра (Протокол испытаний от 8.09.2012 приведен в приложении Б) показали, что чувствительность флуориметра в увеличилась 4 раза, а погрешность измерений понизилась до 16.5 и менее процента.

Для повышения защиты оптоволоконного кабеля от механических воздействий (трение, перегибы, удары) и от вредных воздействий окружающей среды (морская вода, соленый туман) была приобретена термоусадочная трубка. Выбор трубки осуществлялся с учетом требований высокой износостойкости, прочности, гибкости и прочности в широком диапазоне температур (от -20 °С до +45 °С). Указанным требованиям в наибольшей степени удовлетворяет полиолефиновая термоусадочная трубка диаметром 20/9 мм. Трубка была куплена в ЗАО «Мемотерм-ММ», сумма договора составила 2492 рубля. Договор был заключен в июне 2012 года. Поставка трубки была осуществлена в сентябре 2012 года.

Обзор закупок, выполненных на предыдущих этапах выполнения контракта

На первом и втором этапах настоящего контракта были разработаны принципы построения и определен состав измерительного комплекса. На основе анализа ТЗ были определены параметры и требования к основным элементам аппаратной части разрабатываемого комплекса. В соответствии с этими требованиями было выбрано и приобретено оборудование необходимое для реализации компонентов измерительного комплекса. Практическая реализация измерительного комплекса потребовала существенной доработки уже имеющегося приборного парка УСУ, изготовление дополнительных устройств. Учитывая большие сроки поставки импортного оборудования (5 - 6 месяцев), необходимые конкурсы и заключение договоров на поставку были выполнены заранее - уже в течение второго этапа настоящего контракта, в период июль – ноябрь 2011 г. Поставка оборудования началась во втором квартале: были приобретены аналого-цифровой преобразователь и изготовлен погружаемый иллюминатор. Основные и

наиболее дорогие элементы для измерительного комплекса: двухчастотный лазер, оптоволоконные датчики температуры и давления, оптические кабели поступили в течение третьего этапа (январь – май 2012 г.).

Своевременный заказ оборудования позволил уже в марте подготовить и выполнить часть запланированных оригинальных экспериментов по измерению параметров флуоресценции фитопланктона на оз. Байкал. Изготовление и испытание экспериментального макета измерительного комплекса было выполнено в мае – июне 2012 г. Основная часть морских экспериментов осуществлялась в сентябре – октябре 2012 г.

Все приобретенное оборудование было установлено в несущие конструкции экспериментального макета измерительно-вычислительного комплекса и тем самым определило его высокие технические параметры и эксплуатационные характеристики.

Судовой лидар. Для обеспечения требуемой в техническом задании разрешающей способности по глубине при выполнении исследований оптических параметров светорассеивания морской среды, необходимо обеспечить большую частоту дискретизации принимаемого фотоэлектронным умножителем оптического сигнала. Теоретические расчеты показали, что для этой цели требуется использовать высокочастотный АЦП с частотой дискретизации не менее 100 МГц и возможностью синхронизации сверхкороткими лазерными импульсами. Анализ рынка показал, что ряд компаний изготавливает такие АЦП под заказ. В июле 2011 года был объявлен конкурс котировок на поставку АЦП с требуемыми параметрами, который выиграло ЗАО «Инструментальные системы». Поставка АЦП была осуществлена в октябре 2011 г., стоимость контракта составила 154226 руб.

Погружаемый иллюминатор. Является несущей конструкцией для лидара. На нем крепятся лазер, телескоп и фотоумножитель. В нижней части иллюминатора установлено стекло, защищающее от проникновения воды. Конструкция погружаемого иллюминатора оригинальна - спроектирована участниками контракта. Изготовлен погружаемый иллюминатор ООО «Онега ДВ» 16 августа 2011 г. Стоимость изготовления составила 51574 руб.

Обеспечение высокой разрешающей способности лидара стало возможно благодаря появлению новых мощных импульсных лазеров генерирующих синхронизируемые сверхкороткие импульсы длительностью менее 10 нс при длине волны 532 и 355 нм, способных работать в морских условиях. Выбор поставщика для лазера с требуемыми характеристиками определился при проведении открытого аукциона на поставку в ноябре 2011 г.

Поставщиком лазера выступило ООО «ЕвроЛэйз», с которым был заключен контракт на поставку лазера CFR400 стоимостью 1 300 000 рублей. Контракт был выполнен в мае 2012 г.

Оптоволоконный измеритель параметров фотосинтеза фитопланктона. В соответствии с техническим заданием погружаемый модуль должен быть обеспечен оптоволоконными датчиками температуры и давления, не требующими для своей работы электрического питания и имеющими погрешность не более 1% от диапазона измерений. Выполненный на втором этапе контракта анализ представленных на рынке датчиков показал, что указанным требованиям в наибольшей степени отвечают оптоволоконные

датчики на основе брегговских решеток. С учетом этого была сформирована заявка и проведен конкурс котировок в октябре 2011 г., который выиграло ООО «Инверсия-Сенсор». Заключенный с ООО «Инверсия-Сенсор» контракт на сумму 439 000 руб. был выполнен в апреле 2012 г.

Для изготовления нестандартного оптоволоконного кабеля, обеспечивающего требуемые функциональные характеристики погружаемого модуля флуориметра, потребовалось приобретение оптических волокон большого диаметра; 0.4 и 0.6 мм и комплектующих для выполнения их монтажа. Контракт на поставку таких волокон был заключен с ООО «Микросан» на сумму 148 979 руб. в апреле и выполнен в мае 2012 г.

Всего было закуплено оборудования на 2093779 руб., что с учетом последующих расходов на модернизацию на 4 этапе составило 2101401 руб. Это незначительно превышает запланированную в контракте протоколом согласования цены сумму 2 070 000 руб. Имеются отклонения в фактическом расходовании денежных сумм на приобретение оборудования по этапам, по сравнению с предусмотренными календарным планом и протоколом согласования цены. Такое отклонение явилось следствием заложенного при планировании равномерного общего финансирования по этапам, а также длительных сроков заключения и исполнения контрактов на закупку импортного оборудования.

Оборудование, приобретенное и поставленное на баланс института при выполнении настоящего контракта, представлено в таблице 6.3.

Таблица 6.3

Список приобретенного оборудования по контракту

	Наименование, страна	Количество	Стоимость, руб.	№ этапа	Основные параметры	Назначение	Вхождение в УСУ
1	АЦП, Россия	1	154226	2	F=100 МГц	Синхронная обработка лидарного сигнала	В составе гидрооптического лидара
2	Иллюминатор погружаемый оптический, Россия	1	51574	2	D=300 мм L=1200 мм	Несущая конструкция гидрооптического лидара	В составе гидрооптического лидара
3	Лазер CFR 400. Франция	1	1300000	3	$\lambda=532/355$ нм $T_p=7-9$ нс	Импульсный источник света	В составе гидрооптического лидара
4	Оборудование для измерения температуры и давления воды, США	1	439000	3	T=0 – 40 C° P=0 – 1.5 МПа	Измерение температуры и глубины погружения измерительного модуля	В составе оптоволоконного измерителя параметров фотосинтеза фитопланктона
5	Оптоволоконные кабели, США	3	148 979	3	D _{co} =0.4 мм D _{co} =0.6 мм	Передача оптического излучения между погружаемым модулем и бортовым комплексом	В составе оптоволоконного измерителя параметров фотосинтеза фитопланктона

Итого:		2093779				
--------	--	---------	--	--	--	--

Все закупленное оборудование было встроено в соответствующие приборы измерительного комплекса, которые изготавливались собственными силами исполнителями настоящего контракта. Состав и конструктивная реализация приборов комплекса, а также разработанное программное обеспечение, были подробно представлены в отчете по 3 этапу настоящего контракта.

6.5 Выводы по разделу

На четвертом этапе заданные значения индикаторов выполнены. Услугами УСУ ЛаМИ ДВО РАН воспользовалось 7 организаций. Опубликовано 7 статей и одна монография. Имеются 2 статьи и одна монография принятые редакциями к опубликованию и включенные в план изданий на конец 2012 г. и начало 2013 г. Во всех публикациях имеются ссылки на финансовую поддержку Минобрнауки РФ и использование оборудования УСУ ЛаМИ. К работам по контракту привлечено 2 молодых специалиста – студентов последнего курса Дальневосточного государственного университета. Были приобретены комплектующие (лазерные диоды) и материалы (термоусадочная трубка) для выполнения модернизации флуориметра. Закупки оборудования на отчетном этапе не проводились.

В целом, требования к значениям индикаторов госконтракта выполнены. Услуги УСУ ЛаМИ ДВО РАН регулярно предоставлялись внешним организациям. Число пользователей ежегодно составляло не менее 7 организаций. План по количеству публикаций также выполнен. Отставание в 2011 году в количестве 2 статей – компенсировано. В 2012 году вышло из печати 5 статей. Всего по результатам работы в рамках контракта опубликовано 8 статей, 2 статьи и одна монография приняты редакциями к опубликованию и включены в план изданий на конец 2012 г. и начало 2013 г. Во всех статьях имеются ссылки на финансовую поддержку Минобрнауки РФ и использование оборудования УСУ ЛаМИ. К работам по контракту привлечено 7 молодых специалистов: 3 сотрудника ИАПУ, 4 – студентов последнего курса Дальневосточного государственного университета. План закупки оборудования в целом по контракту выполнен. Приобретено и поставлено на баланс 5 единиц оборудования на общую сумму 2093779 руб. (при плане 2070000 руб.), что составило 44% от общей стоимости контракта.

7 Заключение

Работы, выполненные на 4 этапе контракта, явились логическим продолжением и завершением работ и исследований, выполненных на предыдущих этапах, в результате которых был создан работоспособный макет измерительно-вычислительного комплекса для оценки содержания и определения параметров фотосинтеза фитопланктона в морской воде. На 4 этапе контракта, по результатам морских испытаний, была выполнена модернизация излучательного блока флуориметра с погружаемым модулем. Разработана методика и выполнены калибровка флуориметра. Измерения концентрации и параметров фотосинтеза фитопланктона выполнялись во время экспедиций на разных глубинах в акватории б. Витязь и вблизи полуострова Шульца. Разработана методика совместного использования оптических и гидроакустических систем для мониторинга экологического состояния акваторий. Сделано обобщение результатов, доработка аппаратного и программного обеспечений экспериментального макета. Внесённые доработки программного обеспечения позволяют эксплуатировать измерительный комплекс в автоматическом режиме для выполнения регулярных и периодических измерений.

Главным итогом выполнения работ в целом по контракту явилось развитие и модернизация приборного комплекса УСУ ЛаМИ. В составе УСУ сформирован мобильный измерительно-вычислительный комплекс, предназначенный для установки на борту малого судна-носителя оборудованного оптической шахтой, для проведения исследований и мониторинга морских акваторий, позволяющий выполнять:

- измерения концентрации Хлорофилла а и параметров флуоресценции фитопланктона на фиксированной глубине во время движения судна (вариант с прокачиваемой кюветой);

- измерения концентрации Хлорофилла а и параметров флуоресценции фитопланктона в диапазоне глубин 0 – 100 м во время стоянки на якорю или в дрейфе (вариант с погружаемым модулем);

- отслеживать уровни залегания слоев зоо- и фитопланктона во время движения судна носителя (применение гидролидарного и/или гидроакустического комплексов).

Состав оборудования УСУ ЛаМИ расширен за счет включения в него измерительно-вычислительного комплекса содержащего:

- лидар устанавливаемый в оптическую шахту судна-носителя;
- флуориметр с прокачиваемой кюветой;
- оптоволоконный флуориметр с погружаемым модулем.

План закупки оборудования по контракту выполнен. Приобретено и поставлено на баланс 5 единиц оборудования на общую сумму 2093779 руб. (при плане 2070000 руб.), что составило 44% от общей стоимости контракта.

Выполненные в лаборатории исследования отдельных функциональных, эксплуатационных, технических характеристик экспериментального образца измерительного комплекса показали полное соответствие измеренных характеристик и параметров установленным в ТЗ значениям. Морские испытания, в соответствии с разработанной программой экспериментальных исследований, показали, что разработанное оборудование имеет высокие функциональные и метрологические параметры и позволяет выполнить все заявленные в ТЗ к контракту исследования, обеспечивая параметры, указанные в таблице 7.1:

Таблица 7.1

Основные технические параметры измерительно-вычислительного комплекса измерения концентрации и параметров фотосинтеза фитопланктона в морской воде

<ul style="list-style-type: none"> • диапазон рабочих глубин гидроакустического локатора: • разрешение на глубине • чувствительность по энергии не хуже • форма представления данных 	2.5 - 100 м 0.01 м 10^{-11} Вт временная развертка профиля коэффициента обратного рассеяния в градациях серого
<ul style="list-style-type: none"> • диапазон рабочих глубин гидролидара: • форма представления данных Разрешение по глубине не хуже	1 - 30 м Временная развертка сигнала обратного рассеяния в градациях серого 1 м.
<ul style="list-style-type: none"> • диапазон рабочих глубин оптоволоконного флуориметра: • рабочий спектральный диапазон • спектральное разрешение не хуже • Погрешность измерений концентрации Хлорофилла а в диапазоне концентраций 1-10 мкг/л не более • Минимально обнаружимая концентрация 	0.1 – 100 м 390-780 нм 5 нм 16,5% 0.02 мкг/л
<ul style="list-style-type: none"> • воспроизводимость определения концентрации Хлорофилла а, не хуже: 	10%
<ul style="list-style-type: none"> • точность воспроизведения внешних условий (температуры) в ходе измерения параметров должна быть не хуже; 	3%.

Все требования технического задания в целом по контракту выполнены. Новизна и оригинальность выполненной разработки подтверждается анализом патентной и научной литературы, который позволяет сделать вывод об отсутствии в промышленной и научной

среде специализированных водных средств (судов) оснащенных комплексом аппаратуры, включающим гидроакустический и оптический локаторы, совместно работающим с флуоресцентными измерителями параметров фитосинтеза фитопланктона, предназначенных для анализа и мониторинга экологического состояния акваторий. Настоящая разработка является оригинальной, не имеющей аналогов в Российской Федерации и за рубежом. Совместное использование указанных измерительных систем позволяет создать новый технический измерительный комплекс для служб, осуществляющих мониторинг и контроль естественных и искусственных экосистем, а также экологического состояния морских и внутренних акваторий, что становится особенно актуальным в связи с бурным развитием промышленной деятельности на шельфе во всех регионах планеты.



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИАН ДВО РАН
академик Ю.Н. Кульчин

5 июля 2012 г.

**ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ
ИСПЫТАНИЙ №2 [16.518.11.7050]**

«Экспериментального образца измерительного комплекса для измерения концентрации и определения параметров фотосинтеза фитопланктона в морской воде»

Руководитель УСУ ЛаМИ

Ю.Н. Кульчин

Зав. лабораторией

А.Н. Павлов

С.н.с.

Е.Л. Гамаюнов

1. Общие положения

1.1 Наименование и обозначение измерительного комплекса (далее – комплекс).

Измерительный комплекс для измерения концентрации и определения параметров фотосинтеза фитопланктона в морской воде.

1.2. Цель испытаний

исследование технических характеристик комплекса и путей достижения значений, установленных требованиями технического задания¹;

оценка соответствия комплекса требованиям ТЗ при проведении работ в морских условиях.

подтверждение соответствия характеристик комплекса всем требованиям, заданным ТЗ, в условиях реальной эксплуатации.

1.3 Условия предъявления комплекса на испытания

1.3.1 Комплекс предъявляется на испытания в следующей комплектности:

высокочастотный гидроакустический локаатор;

гидролидар;

измеритель параметров фотосинтеза.

1.3.5 Комплекс предъявляется на испытания в сопровождении следующих документов:

техническое задание;

инструкции использования к комплектующим и приборам.

2 Общие требования к условиям, обеспечению и проведению испытаний

2.1 Место проведения испытаний

Испытания проводятся на базе предприятия «Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения РАН» на научной станции «мыс Шульца» в морских условиях с использованием маломерных судов: НИС «Импульс» и НИС «Малахит».

2.2 Требования к средствам проведения испытаний

2.2.1 Перечень средств проведения испытаний² приведён в приложении Б.

2.2.2 Средства измерений, указанные в приложении Б, могут быть заменены другими, обеспечивающими требуемую точность измерений.

2.2.3 Средства измерений должны быть поверены в соответствии с требованиями ПР 50.2.006-94.

2.2.4 Испытательное оборудование должно быть аттестовано по ГОСТ Р 8.568.

2.3 Требования к условиям проведения испытаний

Испытания должны проводиться в условиях соответствующих климатическому исполнению изделия и категории изделия присвоенных согласно ГОСТ 15150-69³:

<i>климатическое исполнение</i>	<i>ОМ</i>
<i>Категория изделия</i>	<i>2</i>
<i>температура окружающего воздуха, °С</i>	<i>От +45 до -30</i>
<i>относительная влажность воздуха, %</i>	<i>до 100, при 35°С</i>
<i>атмосферное давление, мм рт. ст.</i>	<i>до 800</i>

2.4 Требования к подготовке изделия к испытаниям

2.4.2 К началу испытаний все подсистемы комплекса должны быть укомплектованы исправны и функционировать под управлением программ на ПК.

2.4.3 Допускается проведение испытаний отдельных подсистем комплекса:

- высокочастотного гидроакустического локаатора;

¹ Для исследовательских испытаний по ГОСТ 16504

² Средства верификации, испытательное оборудование, программные средства поддержки, инструкции по применению этих вспомогательных программных средств и испытательного оборудования.

³ Если иное не оговорено в разделах 4 и 6 ПМ.

- гидролидара;
- измерителя параметров фотосинтеза.

2.5 Требования к персоналу, осуществляющему подготовку к испытаниям и испытания

К проведению испытаний допускается персонал, прошедший обучение, изучивший техническую документацию на комплекс и подготовленный в соответствии с «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», утвержденных Госэнергонадзором и имеющий степень аттестации по электробезопасности не ниже III-ей группы.

При проведении работ, при проверке и испытаниях персонал обязан соблюдать правила техники безопасности согласно «Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей»

3 Программа испытаний

Определяемые показатели:

Пункт программы исп.	Наименование показателя	Пункт требований ТЗ	Ед. изм.		Значение	Пункт методики
3.1	Испытания высокочастотного гидроакустического локатора					
3.1.1	Чувствительность по энергии не хуже	6.1	Вт	-	$< 10^{-11}$	5.1
3.2.	Испытания гидролидара					
3.2.1	Диапазон рабочих глубин гидролидара	6.1	м		4 - 30	5.2
3.3	Испытания измерителя параметров фотосинтеза					
3.3.1	Погрешность измерений концентрации хлорофилла «а» в диапазоне концентраций 1-10 мкг/л	6.1	%		< 20	5.3
3.3.2	Минимально обнаруживаемая концентрация	6.1	мкг/л		< 0.1	5.4

4 Режимы испытаний

4.1. Проведение испытаний руководителем организации-исполнителя поручается комиссии, в которую назначаются наиболее опытные и компетентные специалисты - работники организации.

4.2. Последовательность и время проведения испытаний определяется по решению комиссии.

4.3. Необходимость, условия и порядок перерыва, аннулирования или прекращения испытаний определяется комиссией.

5 Методы испытаний

Основные сокращения и определения:

В – лидарная база: расстояние между оптическими осями излучателя и приемника.

В= 120 мм.

S – Апертура приемника: диаметр линзы приемной системы лидара.

$S = 200$ мм.

D – Диаметр полевой диафрагмы, изменяемый в пределах:

$D = 3 - 6$ мм.

F – фокусное расстояние приемного объектива лидара.

$F = 500$ мм.

α – угол поля зрения лидара

$\alpha = D/F$;

β – Угол зондирования (угол между оптическими осями излучателя и приемника), изменяется в пределах $0 - 0.02$ Рад.

$R_{\min}(\beta, D)$ – начальная глубина зондирования.

$R_{\text{depth}}(\epsilon)$ – дальность зондирования.

$R = [R_{\min}(\beta=0, D); R_{\min}(\beta=0.02, D) + R_{\text{depth}}(\epsilon)]$ – диапазон зондирования.

ϵ – характерное среднее значение коэффициента экстинкции морских вод.

$\epsilon = 0.2$ м⁻¹.

$A_m = 64000$ – динамический диапазон АЦП

STD – уровень шума измерительной аппаратуры (ФЭУ, АЦП)

5.1 Испытание по п. 3.1.1 Программы выполняется следующим образом.

Измерения выполняются во время морских испытаний. Оценка чувствительности по энергии выполняется по графику зависимости амплитуды рассеянного сигнала принятого и отображаемого на индикаторе гидроакустической системы. При этом в настройках индикатора необходимо задать начальный уровень мощности принимаемого сигнала, относительно которого будет вычисляться текущий уровень мощности.

Например, на рисунке 1 приведена АЧХ гидроакустической антенны, подключенной к приемнику эхолота в морских экспериментах. Из графика видно, что измерения уверенно выполнялись на уровне мощности $-120 \dots -130$ дБ, что при установленном начальном уровне мощности принимаемого сигнала 1 Вт, соответствует мощности звукового сигнала $10-12 \dots 10-13$ Вт.

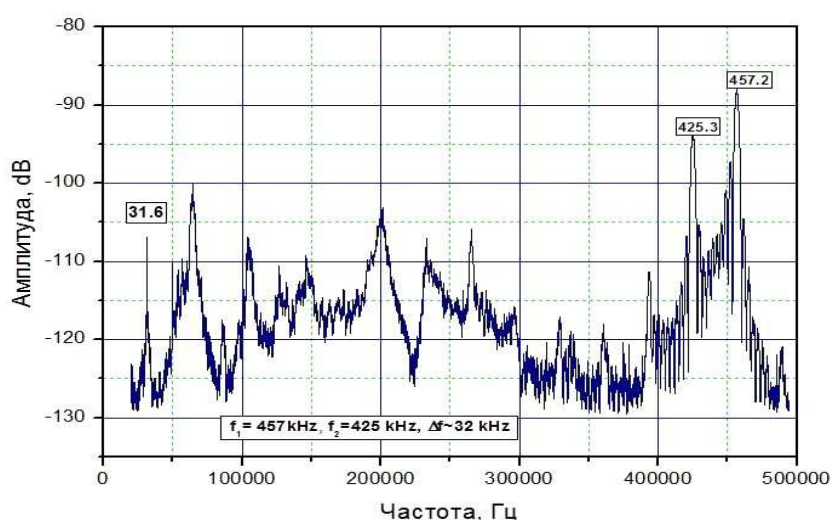


Рисунок 1. Амплитудно-частотная характеристика параметрической антенны.

Объект считается выдержавшим испытание, если уровень мощности принимаемого сигнала не превышает значение, заданное в ТЗ.

5.2. Испытание по п. 3.2.1 Программы выполняется следующим образом

Диапазон рабочих глубин гидролидара определяется двумя измеряемыми и оцениваемыми величинами: начальной глубиной зондирования при угле зондирования

$\beta=0.02$ рад. ($R_{\min}(\beta=0.02,D)$) и конечной глубиной зондирования при угле зондирования $\beta=0$ рад ($R_{\min}(\beta=0,D)+R_{\text{depth}}(\epsilon)$). При этом $R_{\min}(\beta=0,D)$ и $R_{\min}(\beta=0.02,D)$ могут быть определены по сигналу обратного рассеяния в воздухе при предположении однородности среды, поскольку в приближении однократного рассеяния зависят только от геометрического фактора лидарной установки. За уровень оценки начальной глубины зондирования принимается уровень, на котором геометрический фактор превышает 10% его максимальной величины. Дальность зондирования $R_{\text{depth}}(\epsilon)$ – расчетная величина, зависящая от свойств среды (ϵ , коэффициента экстинкции среды) и динамического диапазона измерительной аппаратуры.

Она оценивается в рамках приближения однократного рассеяния по формуле:

$$R_{\text{depth}}(\epsilon) = \ln(2 \cdot \text{STD} / A_m) / (2 \cdot \epsilon). \quad (5)$$

Таким образом, для оценки диапазона зондирования необходимо определить следующие величины: **STD**, $R_{\min}(\beta=0,D)$ и $R_{\min}(\beta=0.02,D)$, по методикам, изложенным в пунктах 5.4.1-5.4.3.

5.2.1 Определение шумовых характеристик регистрирующей электронной системы лидара.

Экспериментальное определение уровня шума и внешних наводок регистрирующей аппаратуры, включающей в себя ФЭУ и АЦП, выполняется методом измерения стандартного отклонения сигнала при номинальном напряжении ФЭУ и закрытом фотокатоде или установленной на объективе крышке. Время измерения – 3 минуты в серии по 3600 зондирующих импульсов (3 минуты – характерное время измерения одного вертикального профиля в натуральных измерениях на океанологической станции). Результирующее **STD** оценивается по результатам 10 измерений.

5.2.2 Оценка нижней границы зондирования, постоянства геометрического фактора лидарной схемы зондирования при перестройке угла зондирования в пределах $\beta = 0 - 0.02$ Рад ($R_{\min}(\beta,D)$).

Определяется экспериментально по расстоянию до 10% уровня геометрического фактора (нижняя граница начала вхождения зондирующего излучения в поле зрения лидара).

При оптической схеме, реализованной в лидаре, α_1 варьируется в пределах 0 – 0.02 радиан.

5.2.3 Оценка дальности зондирования

Оценка производится по формуле:

$$R_{\text{depth}}(\epsilon) = \ln(2 \cdot \text{STD} / A_m) / (2 \cdot \epsilon). \quad (6)$$

Гидролидар считается выдержавшим испытание, если

- $R_{\min}(\beta=0.02,D)$ меньше заданной в ТЗ нижней границы диапазона глубин.
- $R_{\text{depth}}(\epsilon)$ больше заданной в ТЗ верхней границы диапазона глубин.

5.3. Проверка по п. 3.3.1 Программы выполняется следующим образом

Погрешность измерений концентрации хлорофилла «а» в диапазоне концентраций 1-10 мкг/л определяется путем проведения совместных экспериментальных измерений в морской среде с помощью разработанного измерителя параметров фотосинтеза (ИПФ) и флуориметра WetLabs, устанавливаемого на зонде SeaBird SBE19Plus. Исходные результаты измерений ИПФ калибруются при помощи данных полученных с зонда SeaBird. Результаты измерений с датчика WetLabs указываются сразу в единицах измерений концентрации хлорофилла «а» - мкг/л.

Рекомендуется использовать не менее пяти географических точек, в которых необходимо выполнить измерения. Возможно выполнение замеров в меньшем количестве точек или даже в одной, при условии их выполнения с промежутками не менее 30 минут.

В каждом месте замера выбирается несколько глубин, для определения распределения концентрации фитопланктона и зависимости параметров фотосинтеза. Шаг между глубинами должен быть таким, чтобы полученные данные легко интерпретировались и позволяли построить удобочитаемые графики. В каждой географической точке должно быть выбрано восемь - десять значений глубин, где производятся измерения. Если измерения концентрации хлорофилла *a* выполняются при спуске и подъёме измерений усредняются для искомых глубин.

Концентрация хлорофилла *a* измеренная с помощью ИПФ рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{мкг/л}} = \frac{C_{\text{ОВФ}}}{1000} - 1,25 \text{ (мкг/л)},$$

где $C_{\text{ОВФ}}$ – исходные данные полученные с помощью ИПФ.

Пример построения графиков с откалиброванными данными приведен на рисунке 2.

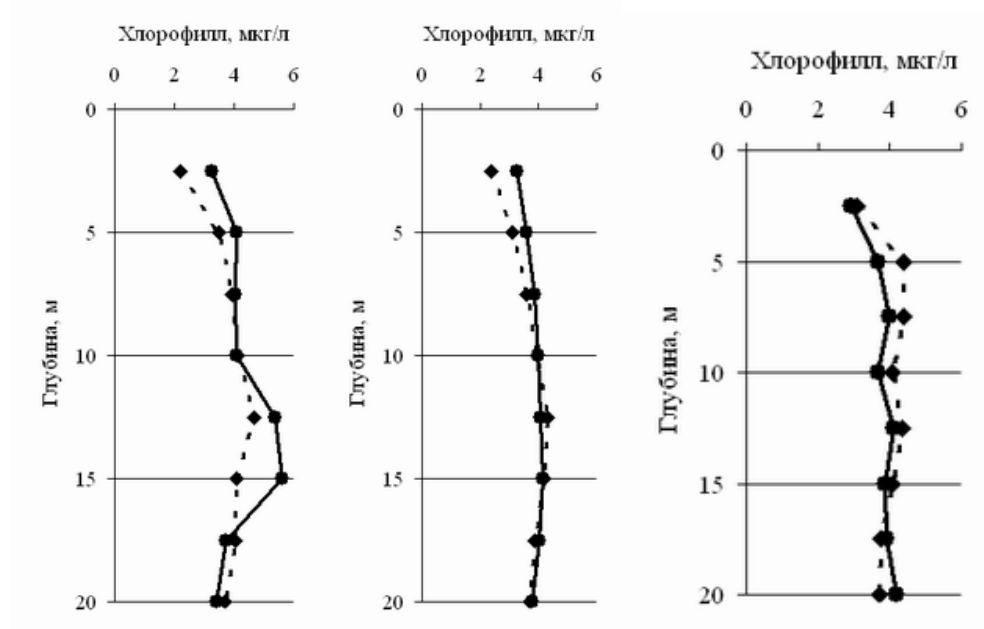


Рисунок 2. Результат калибровки показаний ИПФ

Пунктир – показания WetLabs, сплошная – показания ИПФ

Максимальная погрешность в данных должна быть менее 20 %.

5.4. Проверка по п. 3.3.2 Программы выполняется следующим образом

Минимально обнаружимая концентрация хлорофилла *a* определяется по измеренным значениям в растворах с разной концентрацией хлорофилла *a*. Затем из графика зависимости измеренной концентрации от концентрации хлорофилла *a*, который приведен на рис. 4. определяется концентрация, при которой наблюдается превышение сигнала над шумом. В примере (рис.3) видно, что это наблюдается при концентрации 0.02мкг/л.

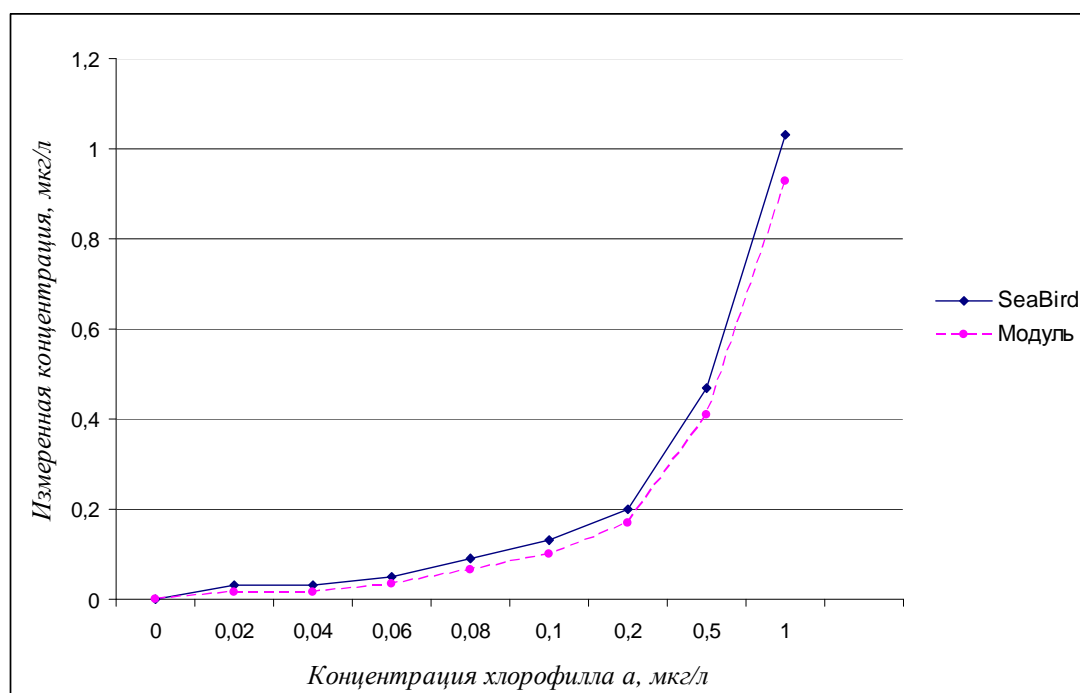


Рисунок 3. Зависимость измеренной концентрации от концентрации хлорофилла *a*

7 Отчетность

7.1. Заданные, установленные и фактические данные, полученные при морских испытаниях по каждому пункту программы, оформляются протоколами, которые рассматриваются комиссией по проведению испытаний.

По результатам испытаний комиссия составляет протокол испытаний.

Приложения

- | | |
|------------|--|
| Приложение | Перечень ссылочных документов |
| А | |
| Приложение | Перечень средств измерений и испытательного оборудования, необходимых для проведения испытаний |
| Б | |

Приложение А

Перечень ссылочных документов

1. ГОСТ 17.1.4.02-90 Вода. Методика спектрофотометрического определения Хлорофилла а. Редакция 01.01.2001.
2. ГОСТ Р ИСО 5725 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений»
3. ГОСТ 15150-69 МАШИНЫ, ПРИБОРЫ И ДРУГИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.

Приложение Б

Перечень средств проведения испытаний

Наименование, тип и марка	Кол-во	Марка, обозначение, изготовитель	Назначение, основные характеристики
Комплекс регистрации и обработки слабых оптических сигналов Andor	1	Andor Technology	Спектральные исследования конденсированных сред и биологических объектов
Твердотельный лазер CFR200	1	CFR200 Quantel	Оптические и спектральные исследования конденсированных сред и биологических объектов
Установка высокоскоростной регистрации оптических спектров HSS	1	HSS L.O.T.- Oriol GmbH	Спектральные исследования быстропротекающих процессов в техногенных и биологических структурах
Аппаратурный комплекс для измерения гидрофизических и биооптических параметров морской воды Seabird	1	Seabird	Измерения гидрофизических и биооптических параметров морской воды и фитопланктона
Фемтосекундный лазер Millennia PRO	1	Millennia PRO Newport	Исследование быстропротекающих процессов в техногенных и биологических структурах
Лазерный аналитический комплекс для спектральных исследований конденсированных сред и биологических объектов	1	ИАПУ ДВО РАН	Оптические и спектральные исследования конденсированных сред и биологических объектов
УФ-ИК спектрофотометр Varian Cary 5000	1	Varian Cary 5000 Varian	Лазерная спектроскопия конденсированных сред и биологических объектов (исследование оптических характеристик методами лазерной флуоресценции, резонансной спектроскопии).
Измеритель мощности лазерного излучения	1	Контроллер 1935, Детектор 918D-SL, Newport	Рабочий диапазон 0.4 – 1.1 нм. Максимальная средняя мощность 2 Вт/см ² . Максимальная импульсная мощность 1мкДж/см ² . Чувствительность 0.1 А/Вт Время спада сигнала ≤ 2 мкс. Точность калибровки: в диапазоне 400-940 нм 1 %, в диапазоне 941-1100 нм 4 %. Погрешность измерения 2 %. Линейность 0.5 %.
Осциллограф	1	GDS2062, Instek	2 канала Полоса входного усилителя 60 МГц Скорость дискретизации 1 Гвыб./сек АЦП 8 бит Погрешность вертикального отклонения ± 3 %.
Аналого-цифровой преобразователь ADM216x100M	1		Два канала ввода — 16 бит Максимальная частота дискретизации — 100 МГц Минимальная частота дискретизации — 30 МГц Входное сопротивление R _{вх} =5КОм или 50Ом Шкалы преобразования: ±10, ±5, ±2, ±1, ± 0.5, ± 0.25, ± 0.1, ± 0.05 В Полоса пропускания – 110 МГц



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИАПУ ДВО РАН

Ю. Н. Кульчин

«28» сентября 2012 г.

**АКТ
испытаний**

экспериментального макета измерительного комплекса для измерения концентрации и определения параметров фотосинтеза фитопланктона в морской воде

Государственный контракт от «12» мая 2011 г. № 16.518.11.7050
Шифр «2011-1.8-518-005-029»

«28» сентября 2012 г.

г.

Комиссия в составе:

председателя

Зав. лабораторией

А.Н. Павлов

членов комиссии

С.н.с.

Е.Л. Гамаюнов

С.н.с.

С.Ю. Столярчук

В.н.с.

А.Ю. Майор

М.н.с.

А.А. Коротенко

секретаря комиссии

М.н.с.

А.Ю. Попик

провела испытания модернизированного экспериментального макета измерительного комплекса для измерения концентрации и определения параметров фотосинтеза фитопланктона в морской воде (далее – объект испытаний).

Испытания проведены в *Институте автоматике и процессов управления Дальневосточного отделения РАН* по Программе и методикам №2 [16.518.11.7050].

1. Комиссией установлено:

1.1. Программа испытаний выполнена полностью.

1.2. Состав и комплектность объекта испытаний соответствует техническому заданию.

1.3. Объект испытаний выдержал испытания по Программе и методикам №2 [16.518.11.7050].

2. Выводы

2.1. Объект испытаний соответствует заданным в техническом задании

3. Замечания и рекомендации

Экспериментальный макет измерительного комплекса для измерения концентрации и определения параметров фотосинтеза фитопланктона в морской воде может быть использован для выполнения научных исследований в составе бортовой лаборатории на малых судах и яхтах.

Приложения

Протоколы испытаний по пунктам ПМ.

Председатель комиссии

А.Н. Павлов

Члены комиссии

Е.Л. Гамаионов

С.Ю. Столярчук

А.Ю. Майор

А.А. Коротенко

Секретарь комиссии

А.Ю. Потник

ПРОТОКОЛ
испытания по пункту № 3.1
Программы и методики №2
[16.518.11.7050]

13 сентября 2012 г.

- 1. Объект испытания:** *высокочастотный гидроакустический локатор.*
- 2. Цель испытания:** проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта № 6.1 технического задания.
- 3. Дата начала испытания:** *13 сентября 2012 г.*
- 4. Дата окончания испытания:** *13 сентября 2012 г.*
- 5. Место проведения испытания:** **ИАПУ ДВО РАН**
- 6. Результаты испытания**

Испытание по п. 3.1.1 Программы выполняется следующим образом.

Измерения выполняются во время морских испытаний. Оценка чувствительности по энергии выполняется по графику зависимости амплитуды рассеянного сигнала принятого и отображаемого на индикаторе гидроакустической системы. При этом в настройках индикатора необходимо задан начальный уровень мощности принимаемого сигнала равный 10^{-4} Вт, относительно которого будет вычисляться текущий уровень мощности.

На рисунке 1 приведена эхограмма на индикаторе приемника эхолота в морских экспериментах. Из графика видно, что измерения уверенно выполнялись на уровне мощности -80 ... -90 дБ, что при установленном начальном уровне мощности принимаемого сигнала 10^{-4} Вт, соответствует мощности звукового сигнала 10^{-12} ... 10^{-13} Вт.

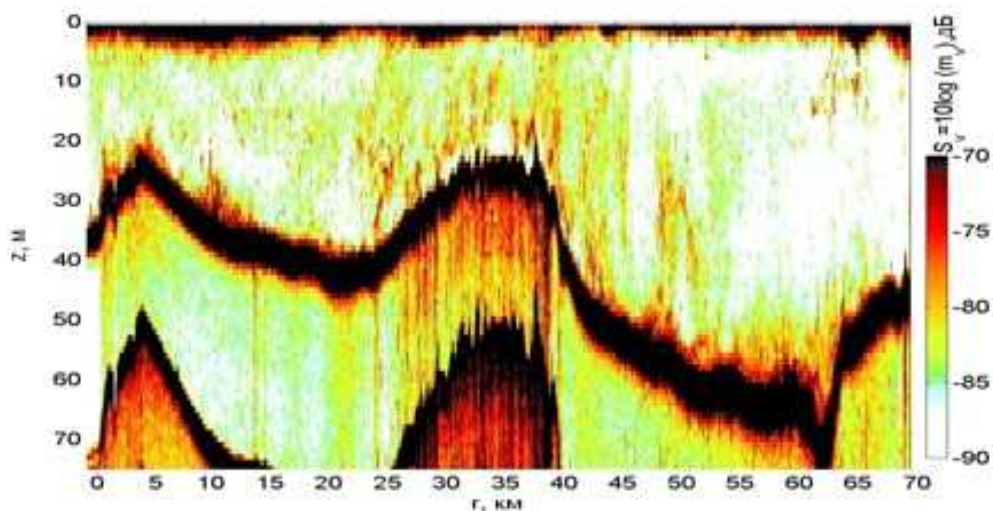


Рисунок 1. Эхограмма на экране эхолота.

Наименование параметра	Ед. изм.	Номера пунктов		Требования к параметру		Измеренное значение		
		Программы испытаний	Методик испытаний	Минимальное значение	Максимальное значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Примечание
Чувствительность по энергии не хуже	Вт	3.1.3	5.3	-	10^{-11}	-	10^{-12}	лучше

7. Замечания и рекомендации

Измеренное значение по п.п. 3.1.3 является верхней границей. Точное значение этого параметра может отличаться в лучшую сторону, но не может быть хуже полученного и указанного в протоколе.

8. Выводы

8.1 Объект испытания *высокочастотный гидроакустический комплекс* выдержал испытание по пункту № 3.1 Программы и методики испытаний.

8.2 Объект испытания *высокочастотный гидроакустический комплекс* соответствует требованиям пункта № 6.1 технического задания.

Испытание проводили:


С.н.с.

 Е.Л. Гамаюнов

М.н.с.

 А.А. Коротенко

М.н.с.

 А.Ю. Потик

ПРОТОКОЛ
испытания по пункту № 3.2
Программы и методики №2
[16.518.11.7050]

13 сентября 2012 г.

1. Объект испытания: *гидролидар.*

2. Цель испытания: проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта № 6.1 технического задания.

3. Дата начала испытания: *13 сентября 2012 г.*

4. Дата окончания испытания: *13 сентября 2012 г.*

5. Место проведения испытания: **ИАПУ ДВО РАН**

6. Результаты испытания

Испытание по пункту 3.2.1. «Диапазон рабочих глубин гидролидара»

6.1.1. Определение шумовых характеристик приемной аппаратуры для оценки диапазона глубины зондирования по нижнему уровню сигнала обратного рассеяния (Спорог= $2*STD$, где STD – шум, оцененный по стандартному отклонению).

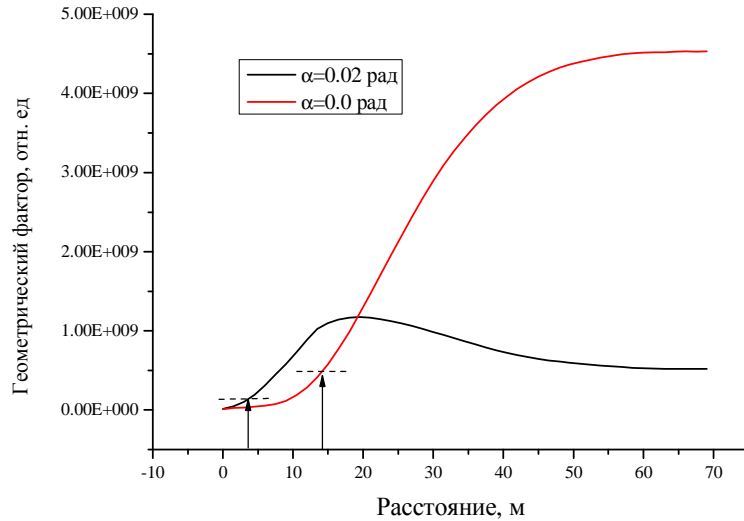
Экспериментальное определение уровня шума регистрирующей аппаратуры, включающей в себя ФЭУ, АЦП., и внешних наводок проводилось методом измерения стандартного отклонения сигнала при номинальном напряжении ФЭУ, закрытом фотокатоде ФЭУ и работающем лазере. Время измерения – 3 минуты в серии по 3600 зондирующих импульсов (3 минуты – характерное время измерения одного вертикального профиля в натурных измерениях на океанологической станции). Результирующее STD оценивается по результатам 10 измерений.

Результат измерения : $STD = 1.48 \pm 0.4$ разряда АЦП;

6.1.2 Оценка нижней границы зондирования, постоянства геометрического фактора лидарной схемы зондирования при перестройке угла зондирования в пределах $\beta = 0 - 0.02$ Рад ($R_{min}(\beta, D)$).

Определяется экспериментально по расстоянию до 10% уровня геометрического фактора (нижняя граница начала вхождения зондирующего излучения в поле зрения лидара).

При оптической схеме, реализованной в лидаре, α_1 варьируется в пределах $0 - 0.02$ радиан; S – апертура телескопа ($S=200$ мм).



α – угол оптической оси излучателя относительно оптической оси приемника
 Рис. 6.1 Геометрический фактор для диафрагмы 3 мм (угол поля зрения 6 мРад)

Диапазон перестройки начальной глубины зондирования при изменении угла зондирования от 0 до 0.02 Рад: 3.7 – 14 м (диафрагма 3 мм, рис. 6.1)

6.1.3 Оценка дальности зондирования

Оценка производится по формуле:

$$R_{\text{depth}}(\epsilon) = \ln(2 \cdot \text{STD} / A_m) / (2 \cdot \epsilon).$$

$$R_{\text{depth}}(\epsilon=0.2) = 29.4$$

6.1.4 Оценка диапазона зондирования

Проводится по формуле:

$$R = [R_{\text{min}}(\beta=0, D) : R_{\text{min}}(\beta=0.02, D) + R_{\text{depth}}(\epsilon)]$$

Результаты оценки:

$$R = [3.7 \text{ м}, 44.1 \text{ м}]$$

Где Δx – разрешающая способность по глубине зондирования; τ – длительность зондирующего импульса; f – частота дискретизации АЦП; c – скорость света в воде.

Результаты оценки:

$\Delta x = 1\text{ м}$.

Наименование параметра	Ед. изм.	Номера пунктов		Требования к параметру		Измеренное значение		
		Программы испытаний	Методик испытаний	Минимальное значение	Максимальное значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Примечание
Диапазон рабочих глубин гидролидара	м	3.2.1	5.5	4	30	3.7	44.1	лучше
Разрешение по глубине	м	3.2.2	5.6	-	2	-	1	лучше

7. Замечания и рекомендации

Измеренные значения по п.п. 3.2.1 и 3.2.2 являются верхними границами. Точные значения этих параметров могут отличаться в лучшую сторону, но не могут быть хуже полученных и указанных в протоколе.

8. Выводы

8.1 Объект испытания *гидролидар* выдержал испытание по пункту № 3.2 Программы и методики испытаний.

8.2 Объект испытания *гидролидар* соответствует требованиям пункта № 6.1 технического задания.

Испытание проводили:

Зав. лаб., д.ф.-м.н.

/Павлов А.Н./

с.н.с., д.т.н.

/Майор А.Ю./

с.н.с., к.ф.-м.н.

/Нагорный И.Г./

с.н.с., к.ф.-м.н.

/Голик С.С./

ПРОТОКОЛ
испытания по пункту № 3.3.
Программы и методики №2
[16.518.11.7050]

28 сентября 2012 г.

- 1. Объект испытания:** *модернизированный измеритель параметров фотосинтеза.*
- 2. Цель испытания:** проверка улучшения характеристик измерителя параметров фотосинтеза после его модернизации
- 3. Дата начала испытания:** 28 сентября 2012 г.
- 4. Дата окончания испытания:** 28 сентября 2012 г.
- 5. Место проведения испытания:** МЭС «Мыс Шульца»
- 6. Результаты испытания**

5.1. Проверка по п. 3.3.1 программы выполняется следующим образом

Погрешность измерений концентрации хлорофилла «а» в диапазоне 1-10 мкг/л определяется путем проведения совместных измерений в морской среде (*in situ*) с помощью разработанного измерителя параметров фотосинтеза (ИПФ) и флуориметра WetLabs, устанавливаемого на зонде SeaBird SBE19Plus. Исходные результаты измерений ИПФ некалиброваны и представлены в относительных единицах. Результаты измерений с датчика WetLabs представлены в единицах измерений концентрации хлорофилла «а» - мкг/л.

Результаты измерения датчиком WetLabs представлены дублирующимися кривыми, что объясняется работой датчика при спуске, и подъеме датчика. Результаты обоих измерений усредняются. Концентрация хлорофилла в местах измерений варьируется от 1,8 мкг/л до 5,2 мкг/л. В каждом месте замера выбрано восемь горизонтов для выполнения сравнения полученных данных и калибровки оптоволоконного флуориметра (ОВФ) – от 2,5 до 20 метров каждые 2,5 м. Замеры выполнены с промежутками в 30 минут.

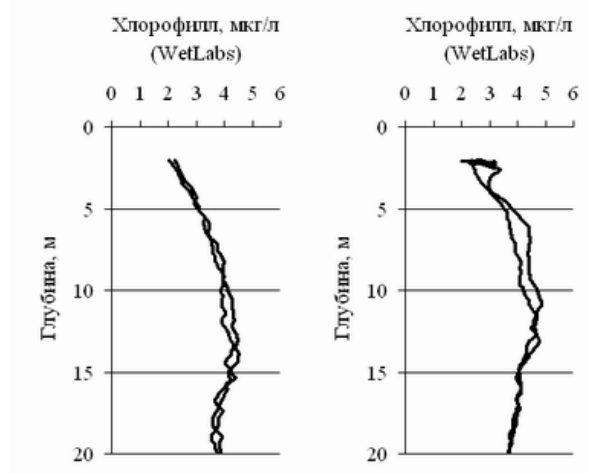
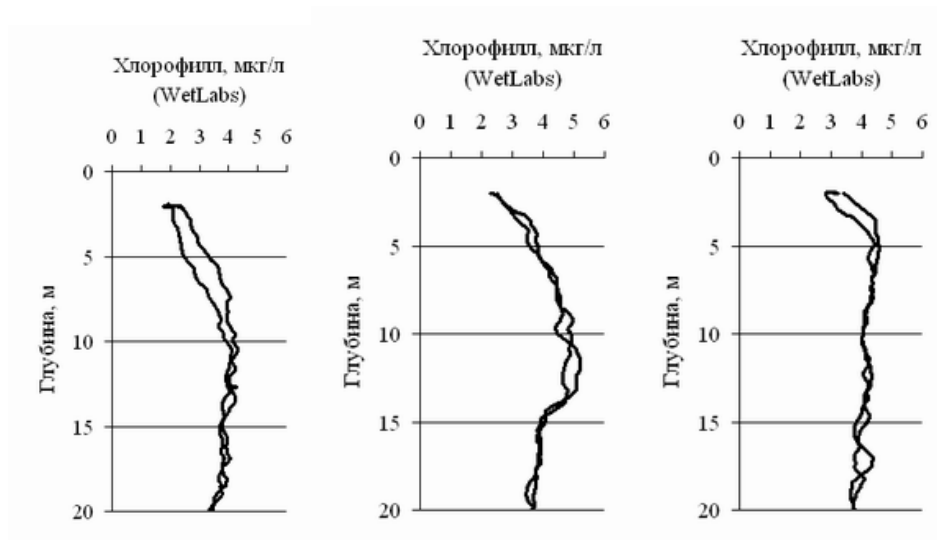
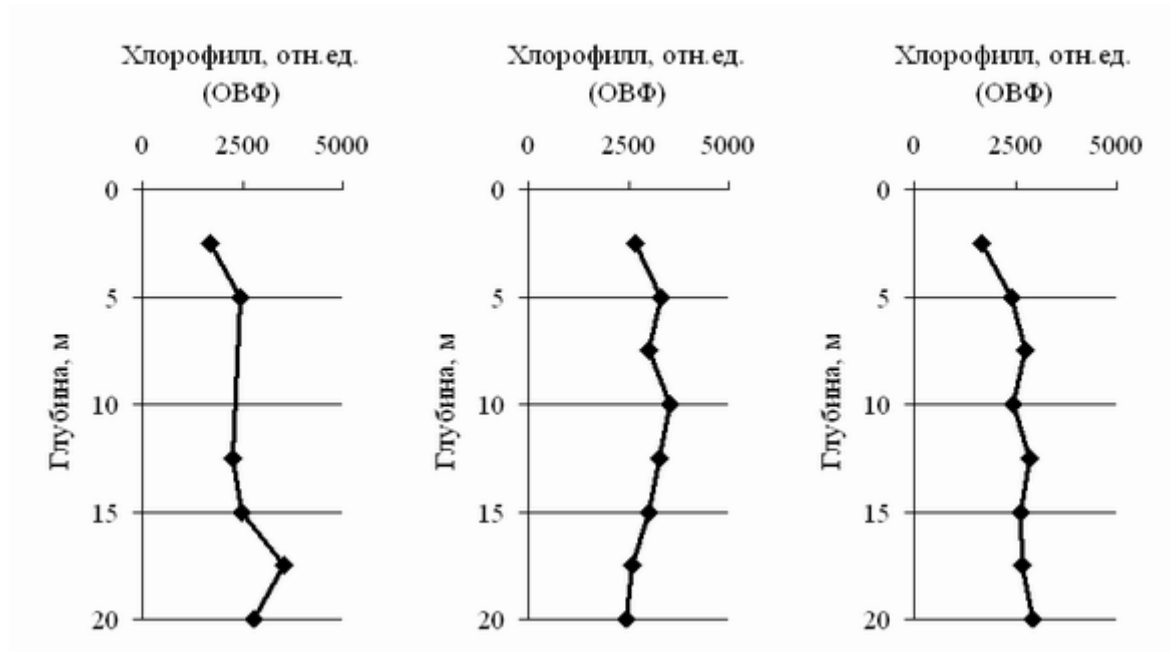


Рисунок 1. Распределения концентрации хлорофилла «а» по датчику WetLabs



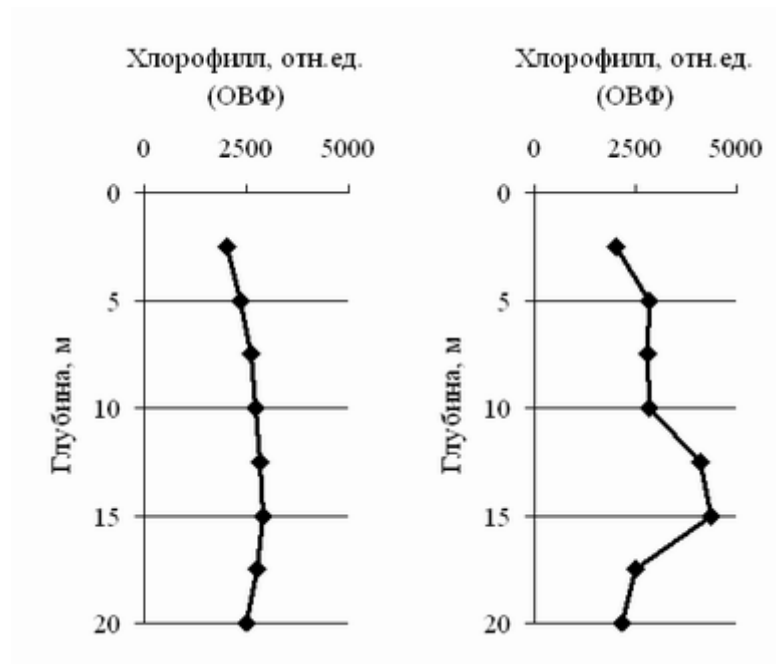


Рисунок 2. Результаты измерения хлорофилла «а» с помощью ИПФ

Измерения с помощью ИПФ корректируются по формуле:

$$C_{\text{мкг/л}} = \frac{C_{\text{ОВФ}}}{1000} - 1,25 \text{ (мкг/л)},$$

где $C_{\text{ОВФ}}$ – исходные данные полученные с помощью ОВФ;

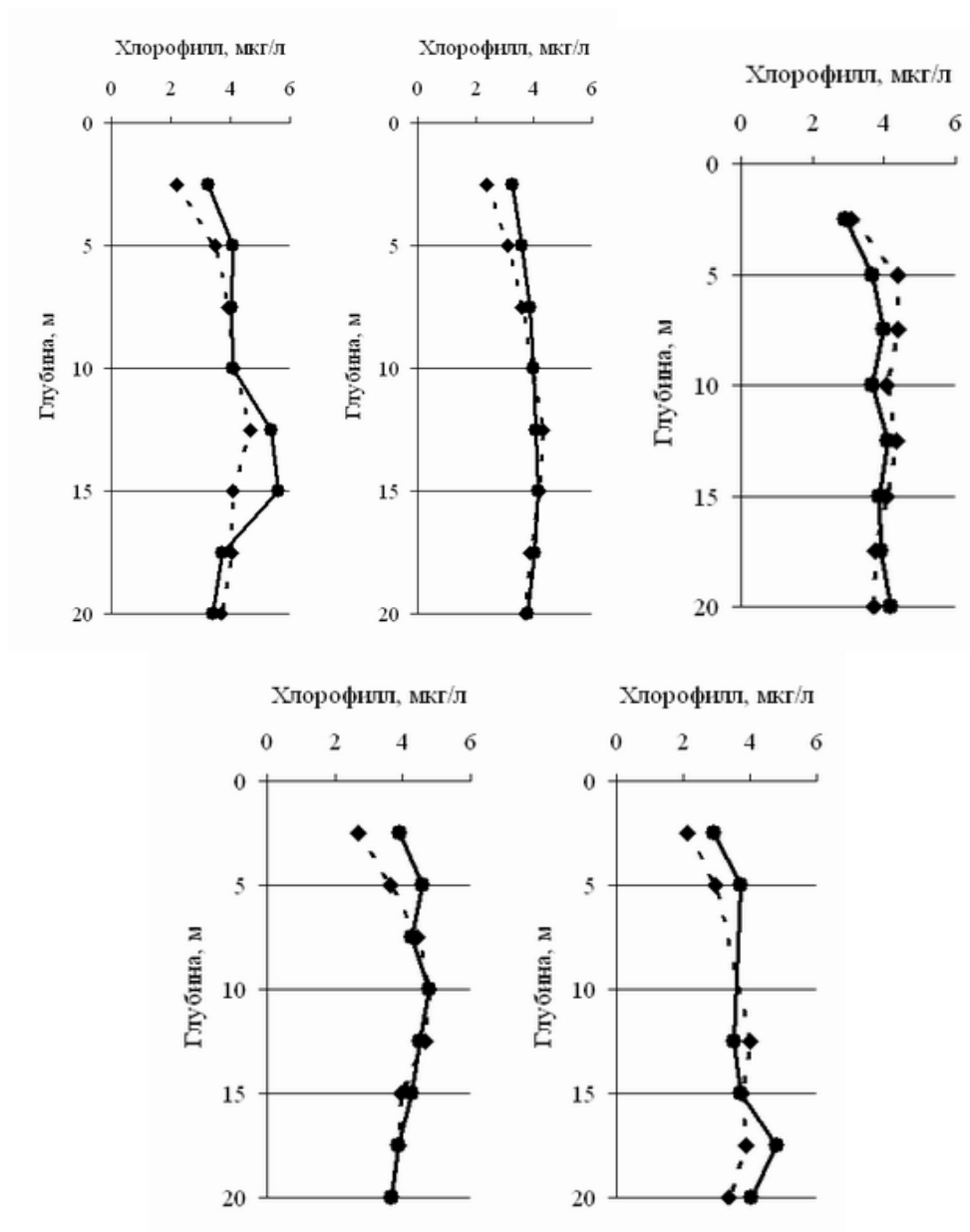


Рисунок 3. Сравнение результатов измерений после калибровки
пунктир – показания WetLabs, сплошная – показания ИПФ

Максимальная погрешность определения концентрации хлорофилла *A* составила 16,5 %.

5.2. Проверка по п. 3.3.2 Программы выполняется следующим образом

Минимально обнаружимая концентрация хлорофилла *a* определялась по измеренным значениям в растворах с разной концентрацией хлорофилла *a*. Из графика зависимости измеренной концентрации от истинной концентрации хлорофилла *a*, определяется концентрация, при которой наблюдается превышение сигнала над шумом. Из графика видно, что это наблюдается при концентрации 0.02 мкг/л.

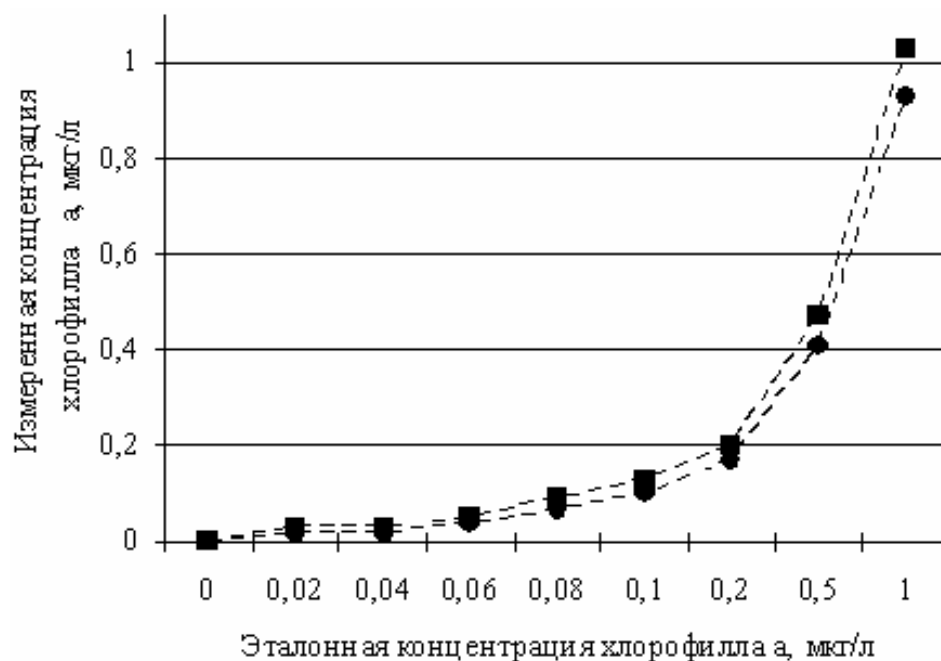


Рисунок 2. Сравнение измеренной и истинной концентрации хлорофилла *a*

■ – датчик WetLabs, ● - ИПФ

Таблица 1

Наименование параметра	Ед. изм.	Номера пунктов		Требования к параметру	Измеренное значение		
		Программы испытаний	Методик испытаний		До модернизации	После модернизации	Примечание
Погрешность измерений концентрации хлорофилла <i>a</i> в диапазоне концентраций 1-10 мкг/л	%	3.3.1	5.1.	20	67	16,5	Лучше заданного в ТЗ в 1,2 раза
Минимально обнаруживаемая концентрация	мкг/л	3.3.2	5.2.	0,1	0,08	0,02	Лучше заданного в ТЗ в 5 раз

7. Замечания и рекомендации

Измеренные значения по п.п. 3.3.1 и 3.3.2 являются зависимыми от погрешности эталонного прибора SeaBird.

8. Выводы

8.1 Установлено, что погрешность измерений концентрации хлорофилла *a* в диапазоне концентраций 1-10 мкг/л объекта испытания - **модернизированного измерителя параметров фотосинтеза** составляет 16,5 %. Измеренная погрешность в 1.2 раза меньше чем в ТЗ и в 4.1 раза лучше, чем до модернизации.

8.2 Установлено, что минимально обнаружимая концентрация объекта испытания - **модернизированного измерителя параметров фотосинтеза** составляет 0,02 мкг/л. Измеренная чувствительность в 4 раза выше чем до модернизации и в 5 раз лучше чем в ТЗ.

Испытание проводили:


С.н.с.

 Е.Л. Гамаюнов

М.н.с.

 А.А. Коротенко

М.н.с.


 А.Ю. Потник



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИАПУ ДВО РАН
академик Ю.Н. Кульчин

15 июня 2012 г.

МЕТОДИКА
МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ
«Экспериментальный образец измерительного комплекса для измерения
концентрации и определения параметров фотосинтеза фитопланктона в
морской воде»

Руководитель УСУ ЛаМИ  Ю.Н. Кульчин

Зав. лабораторией  А.Н. Павлов

С.н.с.  Е.Л. Гамаонов

2012

Приведён опыт объединения гидроакустической, лидарной и оптоволоконной измерительной аппаратуры в один комплекс, что позволяет упорядочить данные, получаемые каждой системой и объединить их в единую базу данных, с соответствующей калибровкой. Объединение измерительного комплекса на базе маломерного судна с видеокамерами, установленными на берегу, позволяет существенно увеличить оперативность и мобильность мониторинга акваторий. Объединение данных различных методов исследований позволяет сделать измерения точными и уменьшить ошибки, возникающие из-за недостатков отдельных методов измерения.

Список основных сокращений и обозначений

ЗВ - загрязняющих веществ;

ММС - Maximum Cross Correlation method;

МП – морская поверхность;

РОВ - растворенное органическое вещество;

КР – комбинационное рассеяние;

ЛИФ – лазерно-индуцированная флуоресценция.

Введение

Одной из актуальных проблем прибрежных индустриальных регионов является проблема борьбы с загрязнением прилегающих акваторий. Возведение платформ добычи углеводородного сырья и нефтяных терминалов, прокладка нефтяных и газовых трубопроводов по дну морских акваторий, функционирование портовых служб и очистных сооружений – лишь небольшой перечень факторов, оказывающих сильное воздействие на экологическое состояние морских акваторий и водных бассейнов. Экологическое состояние в прибрежных регионах определяется сильной связью и взаимовлиянием между атмосферой, водной акваторией и береговой территорией. Изучение такой связи требует проведения одновременных измерений многих параметров окружающей среды и в первую очередь реакции на загрязнение и гидродинамические процессы такого чуткого индикатора экологического состояния среды, как фитопланктон. Следует отметить, что на изменение состояния клеток фитопланктона, а значит биопродуктивность и экологию вод, кроме загрязнений влияет множество других факторов – изменение структуры вод, изменчивость биогенных веществ, течения, перемешивание вод морскими вихрями, изменение светового режима и т.д. Поскольку влияние многих из этих процессов на биопродуктивность и экологию вод до конца не изучено, то методикой предусмотрено использование двухуровневой системы мониторинга прибрежных акваторий не только с целью экологического контроля, но и изучения влияния гидродинамических процессов в верхнем слое океана на состояние фитопланктона (динамика полей хлорофилла «а», способность клеток к фотосинтезу) и динамику звуко и светорассеивающих слоев.

1 Принцип многоуровневого мониторинга акваторий

Первый уровень мониторинга возложен на панорамную поляризационную видеосистему контроля состояния морской поверхности. В задачу этого уровня входит:

- обнаружение и картирование загрязнений в виде органических пленок природного и искусственного происхождения;
- регистрация гидродинамических процессов (течения, внутренние волны, морские вихри), ответственных, в частности, за распространение и эволюцию загрязняющих веществ;
- оценка характеристик приводного ветрового поля с целью прогноза распространения ЗВ;
- наведение судна с аппаратурой второго уровня контроля в проблемную область контролируемой акватории.

Второй уровень мониторинга возложен на аппаратный комплекс судового базирования. В проблемной области на ходу судна осуществляется одновременное акустическое и лидарное зондирование с привязкой к географической системе координат с целью определения пространственного (вертикального и горизонтального) распределения звуко и светорассеивающих слоев в деятельном слое океана. Как правило, звукорассеивающие слои отражают динамику мелкомасштабных неоднородностей, к которым относятся взвесь, зоопланктон, воздушные пузырьки. Светорассеивающие слои образованы более мелкими неоднородностями, к числу которых относится и фитопланктон.

По данным лидарного зондирования производится оценка глубины расположения фитопланктона, а по данным акустического зондирования – оценка глубины пикноклина и расположение полей зоопланктона.

Одновременно с дистанционным зондированием по ходу судна осуществляется маршрутный промер концентрации хлорофилла «а» и проводится оценка фотосинтетической активности клеток фитопланктона в приповерхностном слое на глубине около двух метров.

Интеграция данных первого и второго уровня позволяет выявить наиболее интересные точки и глубины для более детального изучения гидрологических и биооптических (концентрация хлорофилла «а» и способность клеток фитопланктона к фотосинтезу) характеристик водной толщи. В этих точках проводится гидрологическое и флуоресцентное профилирование с помощью гидрологического и оптоволоконного зондов.

2 Аппаратное обеспечение

Аппаратура первого уровня контроля.

- видеосистема контроля состояния морской поверхности.

Аппаратурные комплексы второго уровня контроля:

- гидролидар;
- модернизированный многочастотный эхолот FCV1150;
- двухволновой лазерный флуориметр;
- оптоволоконный зонд для профилирования в морской толще концентрации хлорофилла «а» и фотосинтетической активности клеток фитопланктона;
- светодиодный прокачиваемый флуориметр для оценки фотосинтетической активности фитопланктона.

3 Обработка результатов измерений

3.1 Методика обработки панорамных изображений поляризованной видеосистемы

Видеосистема является частью программно аппаратного комплекса контроля состояния морской поверхности прибрежной зоны [1-5]. Угол поворота камеры при формировании отдельных кадров и количество кадров, определяющие угловые размеры панорамы, задаются в качестве входных параметров программы управления камерой и могут быть изменены по сети удаленно. Применение шагового двигателя позволяет использовать метод дискретного углового позиционирования видеосистемы, при котором изображение каждого фрагмента панорамы формируется при однозначно определенном положении камеры.

Достоинства такого метода проявляются как при формировании общей панорамы из составляющих ее кадров, так и в процедуре “привязки” изображения к географическим координатам. Поскольку в каждый момент захвата фрагмента известны ориентация видеосистемы относительно географической системы координат и высота расположения камеры, то можно трансформировать панорамное изображение на уровень поверхности моря.

Применение цифровой обработки изображений к временной последовательности панорамных изображений с привязкой к географической системе координат позволяет оценить положение и размеры изучаемых объектов и их динамические характеристики. Это скорость перемещения органической пленки [1,2] и изменения ее площади, фазовая скорость распространения внутренних волн, скорость перемещения вихря как целого и структура поля скоростей внутри тела вихря [2]. Кроме того, на множестве изображений отчетливо проявляются турбулентно возмущенные ветром и перемещающиеся со скоростью ветра области морской поверхности – так называемые “кошачьи лапки”. По направлению и скорости их перемещения можно получить оценку поля ветра [3] в приводном слое атмосферы и составить прогноз распространения загрязняющих морскую поверхность органических пленок. Пример панорамы акватории бухты Витязь приведен на рисунке 1 «а», а ее трансформированная форма – на рисунке 1 «б».

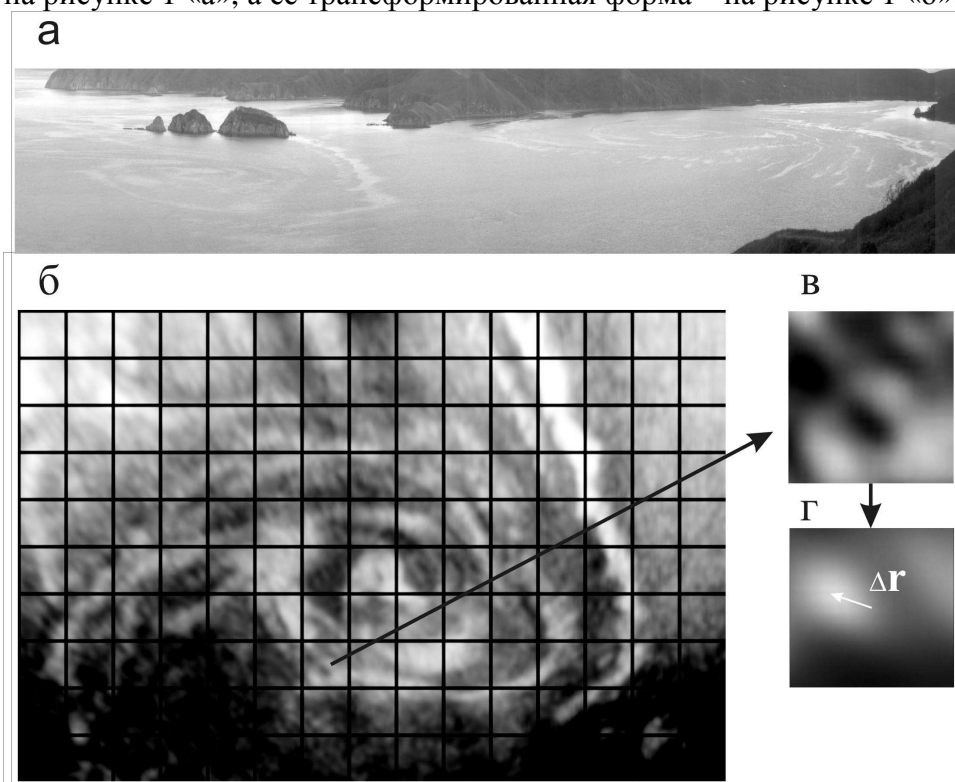


Рисунок 3. Изображение микромасштабных вихрей на морской поверхности: а – панорамный снимок бухты Витязь; б- проекция антициклонического вихря на

уровненную поверхность моря; в – фрагмент морской поверхности; г – тоновое изображение кросс-корреляционной матрицы для фрагмента в.

Для оценки поля скоростей перемещения обнаруженных объектов по времяупорядоченной системе панорамных изображений используется метод МСС. Не вдаваясь в детали самого метода, подробное описание которого можно найти в [6,7], схематично опишем его основные этапы. На первом этапе автоматизированной процедуры применения метода МСС осуществляется фрагментация исходного изображения на квадраты, размеры которых несколько превышают характерные размеры оптических неоднородностей. При этом геометрические центры фрагментов находятся в узлах регулярной сетки. На втором этапе для каждого фрагмента исходного изображения в окрестностях его геометрического центра, но уже на последующем изображении, методами корреляционного анализа двумерных изображений ищется подобный по текстуре фрагмент МП. В качестве критерия подобия фрагментов на исходном и последующем изображениях МП используется величина коэффициента кросс-корреляции. На рис.1«в» приведены изображения одного из фрагментов МП с рис.1«б» и яркостное изображение кросс-корреляционной матрицы (рис.1«г»), на которой стрелкой отмечен вектор смещения максимума коэффициента корреляции относительно центра исходного фрагмента изображения МП. Величина и направление вектора соответствуют смещению Δr яркостной неоднородности на выбранном фрагменте за межкадровый период Δt за счет адвекции оптических неоднородностей поверхностным течением. Расчет вектора скорости поверхностного течения производится в этом случае по формуле $V=k \cdot \Delta r / \Delta t$ (где k – пиксельное разрешение изображения в м/пиксель). Применяя эту процедуру ко всем фрагментам поверхности можно получить поле скоростей поверхностных течений на равномерной сетке всего изображения МП.

3.2 Методика обработки гидролидарных измерений

В приближении однократного рассеяния рассеянный на оптических неоднородностях лазерный импульс описывается так называемым лидарным уравнением:

$$P(\lambda, z) = C \frac{\beta_m(\lambda, z) + \beta_g(\lambda, z)}{z^2} \exp \left[-z \int_{z_0}^z [\alpha_m(\lambda, z') + \alpha_g(\lambda, z')] dz' \right], \quad (1)$$

где $P(\lambda, z)$ – мощность сигнала обратного рассеяния, обусловленного молекулярным и гидрозолевым рассеянием;

β_m и β_g – коэффициенты молекулярного и гидрозолевого обратного рассеяния;

α_m и α_g – коэффициенты молекулярного и гидрозолевого ослабления для волны λ , соответственно;

C – аппаратная константа в рабочей области лидара, в которую входят такие характеристики лидара, как апертура телескопа, мощность и длительность лазерного импульса и, в частности, геометрический фактор, определяющий степень вхождения зондирующего излучения в поле зрения телескопа лидара.

При построении временной развертки лидарного зондирования принято использовать скорректированный на расстояние лидарный сигнал S :

$$S(z) = P(z)z^2 \quad (2)$$

Как и в случае акустического зондирования, временная развертка вертикальных профилей этой величины дает информацию о пространственном распределении светорассеивающих слоев, если измерения проводятся по ходу судна, либо их временной изменчивости при измерениях в определенной географической точке.

3.3 Методика обработки акустических измерений

Для описания рассеяния звука в среде с микронеоднородностями используется коэффициент рассеяния m_V , который в приближении однократного рассеяния (борновском приближении) определяется согласно выражению:

$$I_{bs} = I_i V m_V / r^2, \quad (3)$$

где $I_{bs} : P_{bs}^2$, $I_i : P_i^2$ - интенсивности падающего на неоднородность и рассеянного звука соответственно,

P_i и P_{bs} -- соответственно, амплитуды падающей на объем V волны и рассеянной в обратном направлении,

r - расстояние до неоднородности,

V - импульсный рассеивающий объем среды.

Из формулы (1) можно получить экспериментальное значение коэффициента обратного рассеяния звука в жидкости в виде:

$$m_V = \frac{2}{\pi \theta^2 c T} \left(\frac{P_{bs}}{P_i} \right)^2. \quad (4)$$

Часто коэффициент рассеяния звука m_V записывают в логарифмической форме – в децибелах согласно следующей формуле

$$S_V(\omega) = 10 \lg m_V(\omega), \quad (5)$$

при этом размерность m_V берут в m^{-1} . С помощью формул (2)-(3) экспериментально определяется частотная зависимость $m_V(\omega)$ или $S_V(\omega)$, которая позволяет установить тип рассеивателей, а также некоторые их характеристики, например, функцию распределения по размерам $g(R)$ или объемную концентрацию V_0 , определяемую в виде:

$$V_0 = (4\pi / 3) \int_{R_{\min}}^{R_{\max}} R^3 g(R) dR \quad (6)$$

Формулы (3)-(5) составляют основу определения коэффициентов рассеяния звука на основании экспериментальных данных по измерениям амплитуд падающей на объем V

волны и рассеянной в обратном направлении P_i и P_{bs} , соответственно.

Временная развертка вертикальных профилей этих величин дает информацию об их пространственном распределении, если измерения проводятся по ходу судна, либо их временной изменчивости при измерениях в определенной географической точке.

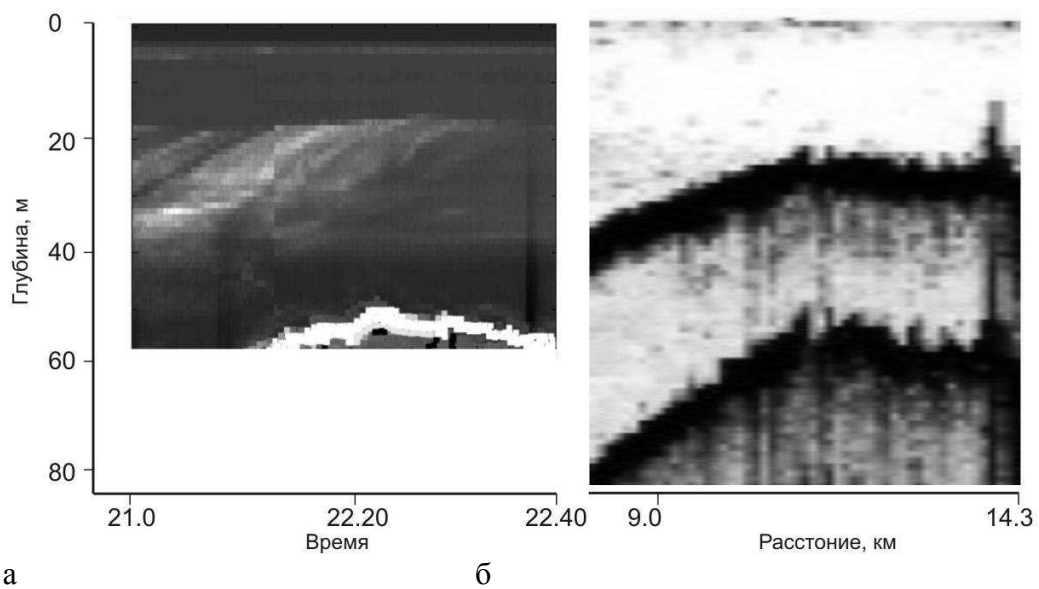


Рисунок 4. Пример совместных измерений гидролидаром (а) и эхолотом (б)

3.4 Методика обработки данных флуориметрического профилирования

Флуориметрическое профилирование морской толщи выполняется с целью определения вертикального профиля коэффициента фотосинтетической активности клеток фитопланктона.

Расчет коэффициента фотосинтетической активности $K_{ФА}$ производится на основе измерений реперных точек кинетической кривой флуоресценции в методе «Pump & Prob» (Рис.2).

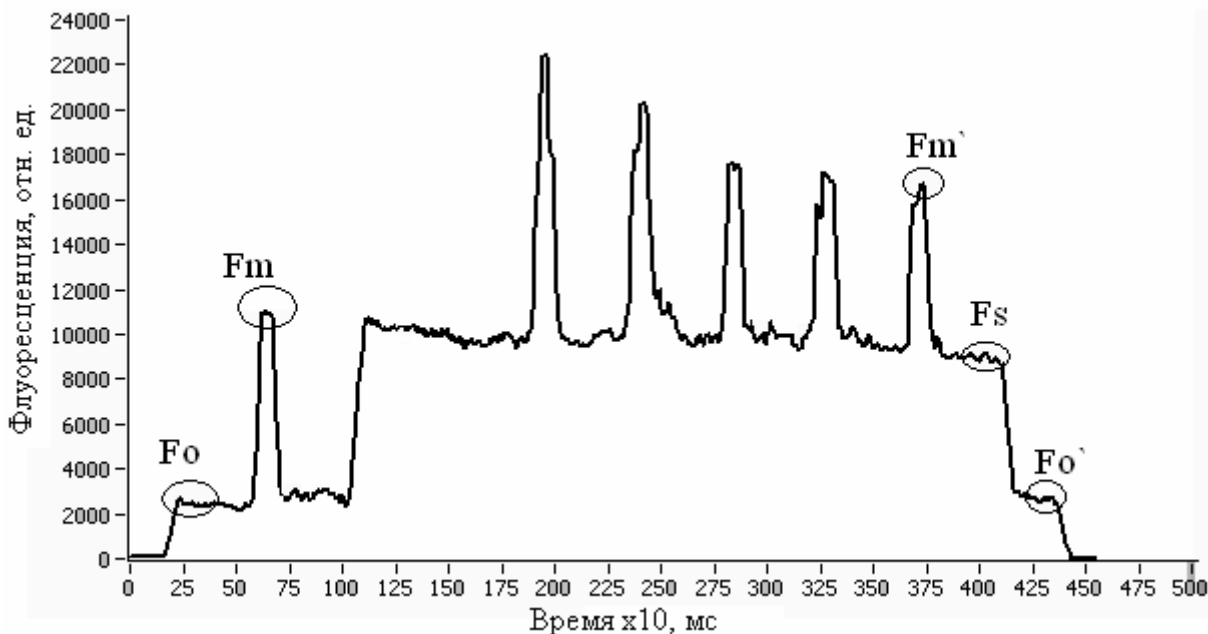


Рисунок 5. Кинетическая кривая флуоресценции клеток фитопланктона: F_o – минимальный выход флуоресценции в исходном состоянии; F_m – максимальный выход флуоресценции в исходном состоянии; F_m' – максимальный выход флуоресценции под воздействием актиничного излучения; F_s – выход флуоресценции при частично восстановленных реакционных центрах; F_o' – минимальный выход флуоресценции после воздействия актиничного излучения.

Расчет коэффициента фотосинтетической активности производится по формуле:

$$K_{ФА} = (F_m - F_o) / F_m \quad (7)$$

3.5 Методика обработки флуориметрических проточных измерений

Методика предназначена для расчета концентрации хлорофилла «а» по спектрам лазерной индуцированной флуоресценции в водах с большим содержанием растворенного органического вещества. Измерения проводятся лазерным флуориметром в проточной воде.

На рисунке 4 представлена форма спектра флуоресценции морской воды при возбуждении лазерным излучением на длине волны 532 нм.

Из рисунка видно, что спектральная линия флуоресценции хлорофилла «а» ($I_{ХЛ(680)}$) лежит на подложке – широкой линии флуоресценции РОВ

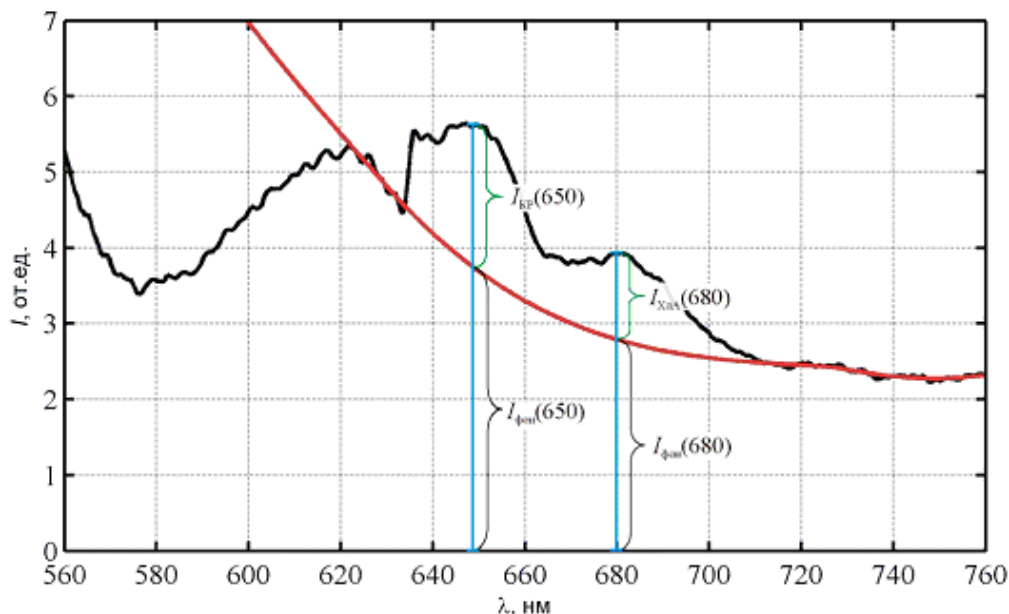


Рисунок 6. Спектр флуоресценции морской воды при возбуждении лазерным импульсом с длиной волны 532 нм.

Обработка измеренных спектров производится по следующей методике:

а) после предварительной обработки спектров, включающей коррекцию спектров на аппаратную спектральную функцию прибора и низкочастотную фильтрацию с целью подавления импульсного шума, производится процедура разделения спектральных компонентов. Спектральная кривая флуоресценции морской воды представляется суммой спектральных линий:

– широкополосной линией флуоресценции РОВ, аппроксимируемой функцией вида:

$$I_{POB}(\lambda) = a_{POB} \cdot \exp(-b_{POB} \cdot \lambda); \quad (8)$$

– линиями комбинационного рассеяния молекулами морской воды, флуоресценции хлорофилла «А» и других пигментов, которые аппроксимируются гауссианами:

$$I_K(\lambda) = a_K \cdot \exp\left(-\left(\frac{\lambda - \lambda_K}{b_K}\right)^2\right), \quad (9)$$

где a_K – амплитуда флуоресценции K -того биооптического компонента или КР воды;
 b_K – коэффициент, отвечающий за ширину функции Гаусса;
 λ_K – положение гауссиана по шкале длин волн.

Коэффициенты функций, описывающих компоненты ЛИФ спектра, определялись методом нелинейных наименьших квадратов. На рисунке 5 представлено разложение спектра на отдельные компоненты.

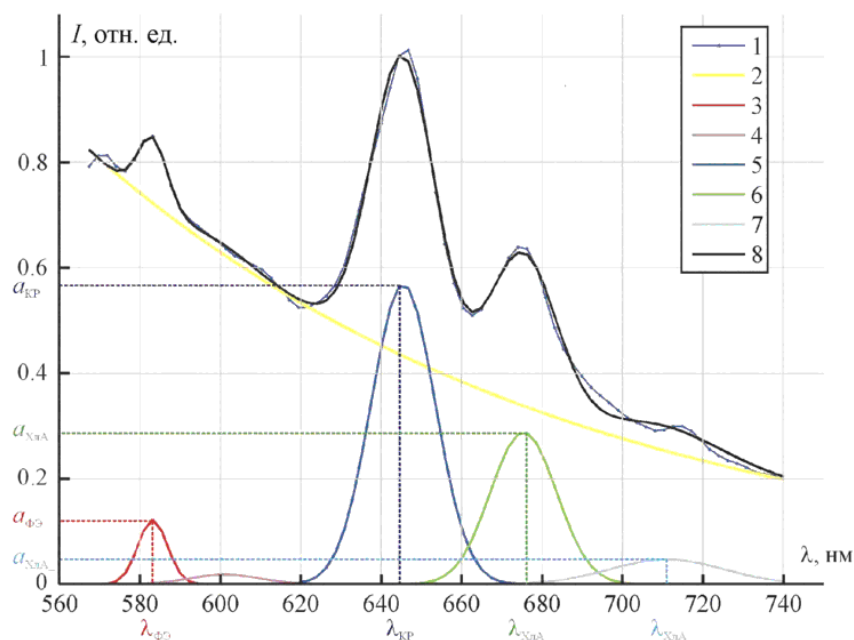


Рисунок 7. Разложение спектра ЛИФ на отдельные компоненты: 1 – исходный спектр, 2 – флуоресценция РОВ, 3 – флуоресценция фикоэретрина, 4 – флуоресценция производных хлорофилла «А», 5 – КР воды, 6 – флуоресценция хлорофилла «А», 7 – плечо флуоресценции хлорофилла «А», 8 – аппроксимированный спектр

б) Расчет концентрации хлорофилла «а» производится по формуле:

$$C = k \cdot \Phi_0 = k \cdot a_{ХЛА} / a_{КР}, \quad (3.10)$$

где k – калибровочный коэффициент, определяемый из сравнения со стандартными измерениями концентрации хлорофилла «а»,

Φ_0 – отношение интенсивности ненасыщенной флуоресценции хлорофилла «а» ($a_{ХЛА}$ -интенсивность линии флуоресценции хлорофилла «а» в разложении по биооптическим компонентам) к интенсивности линии КР воды ($a_{КР}$).

В качестве исходного значения k , используется полученное ранее значение: $k=2,3$.

Список цитированной литературы

- [1] Кульчин Ю.Н., Букин О.А и др. Комплексный контроль состояния морских акваторий оптическими методами. Часть 1. Концепция построения многоуровневых измерительных систем для экологического мониторинга прибрежных акваторий// Оптика атмосферы и океана, 2012, т.25, №7, стр. 633-637
- [2] Константинов О.Г, Павлов А.Н. Комплексный контроль состояния морских акваторий оптическими методами. Часть 2. Регистрация загрязнений на морской поверхности.// Оптика атмосферы и океана, 2012, т.25, №10, стр. 902-908
- [3] Константинов О.Г, Павлов А.Н. Комплексный контроль состояния морских акваторий оптическими методами. Часть 2. Регистрация динамических процессов по снимкам на морской поверхности.// Оптика атмосферы и океана, 2012, в печати
- [4] Гамаюнов Е.Л. и др. Комплексный контроль состояния морских акваторий оптическими методами. Часть 4. Опто-волоконная система измерения концентрации фитопланктона// Оптика атмосферы и океана, т.26, № 1, 2013, в печати
- [5] Константинов О.Г., Павлов А.Н. Видеосистема контроля состояния морской поверхности// Приборы и техника эксперимента, 2012, №6, с. 121-123
- [6] R. M. Ninnis, W. J. Emery and M. J. Collins Automated extraction of pack ice motion from advanced very high resolution radiometry.// J. Geophysical Res. 1986. 91, 10, p.725-734
- [7] M. M. Bowen, W. J. Emery, J. Wilken, P. C. Tildesley, I. J. Barton, and R. Knewton. Extracting multi-year surface currents from sequential thermal imagery using the maximum cross correlation technique // J. Atmos. Ocean. Technol., vol. 19, № 10, pp. 1665–1676, 2002.

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
 КОНЦЕНТРАЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ФОТОСИНТЕЗА
 ФИТОПЛАНКТОНА В МОРСКОЙ ВОДЕ

Для того чтобы оценить увеличение скорости измерения с помощью разработанного комплекса по сравнению с погружаемым зондом SeaBird составим модель измерений.

Исследуемый квадрат морской поверхности площадью S разобьем на N квадратов, в которых необходимо произвести измерения. При этом имеем $N=n^2$, где n количество отрезков, делящих сторону квадрата. Так как изменения в концентрации фитопланктона имеют явно нелинейный характер и могут иметь сложный закон распределения по заданной площади, измерения нужно проводить в каждом из N квадратов. Размерность n не зависит от исследуемой площади и определяется габаритами судна, на практике она примерно равна 10 метрам. Замеры погружаемым зондом SeaBird необходимо выполнять в каждом квадрате, каждый раз погружая зонд.

Разработанный комплекс позволяет выполнять измерения непрерывно на ходу судна, при помощи гидролокатора, гидролидара или прокачиваемой кюветы. Пусть t_1 – время измерений зондом SeaBird; t_2 – время измерений разработанным комплексом; T – время необходимое для перемещения судна из одного квадрата в другой. Если выполнять измерения непрерывно, а останавливаться для уменьшения погрешности измерений в каждом k -ом квадрате, как это показано на рисунке 1, то затрачиваемое время на выполнение обследования комплексом можно вычислить по формуле:

$$T_{\text{компл}} = n^2T + (n^2/k) t_2 .$$

Рассчитаем общее время, затраченное на измерения зондом SeaBird:

$$T_{\text{SeaBird}} = n^2T + n^2t_1 .$$

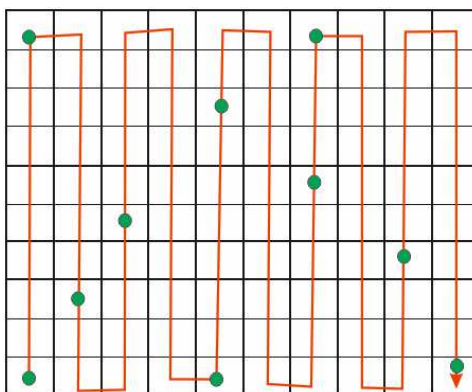


Рисунок 1. Схема обследования больших площадей

Найдем эффективность как отношение времени обследования с использованием погружаемого зонда SeaBird к времени обследования разработанным комплексом. Если считать, что время одного измерения с помощью погружаемого зонда разработанного комплекса и зондом SeaBird практически одинаково, то есть, $t_1 = t_2$, получим:

$$\frac{T_{\text{SeaBird}}}{T_{\text{компл}}} = \frac{\frac{T}{t_1} + 1}{\frac{T}{t_1} + \frac{1}{k}}$$

Из формулы видно, что эффективность применения комплекса увеличивается с ростом времени выполнения одного измерения и сокращением времени перехода судна из точки в точку (т. е. с увеличением количества точек остановки). В пределе значение эффективности достигает значения равного k .

Представляет интерес оценить время обследования территории площадью 1 км^2 с разрешением 100 м . В этом случае, при использовании погружаемого зонда SeaBird, необходимо выполнить точечные измерения в 100 точках, расстояние между которыми равно 100 м . Время выполнения одного измерения погружным зондом составляет в среднем 10 мин . Время перехода судна из точки в точку в среднем равно 1 мин . Время обследования с помощью погружного зонда будет равно:

$$T_{\text{погр}} = 100 (10 + 1) = 1100 \text{ мин} = 18.3 \text{ час}$$

В случае использования разработанного комплекса, количество остановок можно сократить примерно в 10 раз (см. рис. 1), тогда время обследования той же территории уменьшится в 10 раз и составит 110 мин ($\approx 2 \text{ час}$).

Перечень органов федерального уровня, выполняющих мониторинг водных объектов в Российской Федерации

Министерство водных ресурсов и экологии Российской Федерации <http://www.mnr.gov.ru/> включает в себя различные ведомства, в том числе и:

- Федеральное агентство водных ресурсов. <http://voda.mnr.gov.ru>
- Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды <http://meteorf.ru>

1 Федеральное агентство водных ресурсов.

Ниже перечислены объекты занимающиеся мониторингом состояния водных объектов, к которым относятся бассейновые ведомственные управления (БВУ).

- 1 Амурское БВУ <http://www.amurbvu.ru/>
 - 1.1 Отдел водных ресурсов Амурского БВУ по Амурской области
 - 1.2 Отдел водных ресурсов Амурского БВУ по Приморскому краю
 - 1.3 Отдел водных ресурсов Амурского БВУ по Хабаровскому краю
 - 1.4 Отдел водных ресурсов Амурского БВУ по Еврейской АО
 - 1.5 Отдел водных ресурсов Амурского БВУ по Камчатскому краю
 - 1.6 Отдел водных ресурсов Амурского БВУ по Сахалинской области
 - 1.7 Отдел водных ресурсов Амурского БВУ по Чукотскому АО
 - 1.8 Отдел водных ресурсов Амурского БВУ по Забайкальскому краю
- 2 Верхне-Волжское БВУ <http://www.vvbvu.ru/>
 - 2.1 Отдел водных ресурсов Верхне-Волжского БВУ по Владимирской области
 - 2.1 Отдел водных ресурсов Верхне-Волжского БВУ по Ивановской области
 - 2.3 Отдел водных ресурсов Верхне-Волжского БВУ по Ярославской области
 - 2.4 Отдел водных ресурсов Верхне-Волжского БВУ по Костромской области
 - 2.5 Отдел водных ресурсов Верхне-Волжского БВУ по Пензенской области
 - 2.6 Отдел водных ресурсов Верхне-Волжского БВУ по Нижегородской области
 - 2.7 Отдел водных ресурсов Верхне-Волжского БВУ по Чувашской Республике
 - 2.8 Отдел водных ресурсов Верхне-Волжского БВУ по Республике Марий Эл
 - 2.9 Отдел водных ресурсов Верхне-Волжского БВУ по Республике Мордовия
- 3 Верхне-Обское БВУ <http://www.vobvunsk.ru/>
 - 3.1 Отдел водных ресурсов Верхне-Обское БВУ по Алтайскому краю
 - 3.2 Отдел водных ресурсов Верхне-Обское БВУ по Кемеровской области
 - 3.3 Отдел водных ресурсов Верхне-Обское БВУ по Новосибирской области
 - 3.4 Отдел водных ресурсов Верхне-Обское БВУ по Томской области
 - 3.5 Отдел водных ресурсов Верхне-Обское БВУ по Республике Алтай
- 4 Двинско-Печорское БВУ <http://www.dpbvu.ru/>
 - 4.1 Отдел водных ресурсов Двинско-Печорского БВУ по Архангельской области и НАО
 - 4.2 Отдел водных ресурсов Двинско-Печорского БВУ по Вологодской области
 - 4.3 Отдел водных ресурсов Двинско-Печорского БВУ по Республике Коми
 - 4.4 Отдел водных ресурсов Двинско-Печорского БВУ по Мурманской области
- 5 Донское БВУ <http://www.donbvru.ru/>
 - 5.1 Отдел водных ресурсов Донского БВУ по Курской области
 - 5.2 Отдел водных ресурсов Донского БВУ по Липецкой области
 - 5.3 Отдел водных ресурсов Донского БВУ по Воронежской области
 - 5.4 Отдел водных ресурсов Донского БВУ по Тамбовской области
 - 5.5 Отдел водных ресурсов Донского БВУ по Белгородской области
 - 5.6 Отдел водных ресурсов Донского БВУ по Ростовской области

- 6 Енисейское БВУ <http://enbv.ru/>
- 6.1 Отдел водных ресурсов Енисейского БВУ по Красноярскому краю
- 6.2 Отдел водных ресурсов Енисейского БВУ по Республике Тыва
- 6.3 Отдел водных ресурсов Енисейского БВУ по Республике Хакасия
- 6.4 Отдел водных ресурсов Енисейского БВУ по Иркутской области
- 7 Западно-Каспийское БВУ <http://zkbvu.com/>
- 7.1 Отдел водных ресурсов Западно-Каспийского БВУ по Республике Дагестан
- 7.2 Отдел водных ресурсов Западно-Каспийского БВУ по Республике Ингушетия
- 7.3 Отдел водных ресурсов Западно-Каспийского БВУ по Кабардино-Балкарской Республике
- 7.4 Отдел водных ресурсов Западно-Каспийского БВУ по Республике Калмыкия
- 7.5 Отдел водных ресурсов Западно-Каспийского БВУ по Республике Северная Осетия-Алания
- 7.6 Отдел водных ресурсов Западно-Каспийского БВУ по Чеченской Республике
- 8 Камское БВУ <http://kambvu.ru/>
- 8.1 Отдел водных ресурсов Камского БВУ по Республике Башкортостан
- 8.2 Отдел водных ресурсов Камского БВУ по Кировской области
- 8.3 Отдел водных ресурсов Камского БВУ по Пермскому краю
- 8.4 Отдел водных ресурсов Камского БВУ по Республике Удмуртия
- 9 Кубанское БВУ <http://www.kbv.ru/>
- 9.1 Отдел водных ресурсов Кубанского БВУ по Карачаево-Черкесской Республике
- 9.2 Отдел водных ресурсов Кубанского БВУ по Ставропольскому краю
- 9.3 Отдел водных ресурсов Кубанского БВУ по Республике Адыгея
- 10 Ленское БВУ <http://www.lbv.ru/>
- 10.1 Отдел водных ресурсов Ленского БВУ по Республике Саха
- 10.2 Отдел водных ресурсов Ленского БВУ по Магаданской области
- 11 Московско-Окское БВУ <http://www.m-obvu.ru/>
- 11.1 Отдел водных ресурсов Московско-Окского БВУ по Брянской области
- 11.2 Отдел водных ресурсов Московско-Окского БВУ по Калужской области
- 11.3 Отдел водных ресурсов Московско-Окского БВУ по Московской области
- 11.4 Отдел водных ресурсов Московско-Окского БВУ по Орловской области
- 11.5 Отдел водных ресурсов Московско-Окского БВУ по Рязанской области
- 11.6 Отдел водных ресурсов Московско-Окского БВУ по Смоленской области
- 11.7 Отдел водных ресурсов Московско-Окского БВУ по Тверской области
- 11.8 Отдел водных ресурсов Московско-Окского БВУ по Тульской области
- 11.9 Отдел водных ресурсов Московско-Окского БВУ по г. Москве
- 12 Невско-Ладужское БВУ <http://www.nord-west-water.ru/>
- 12.1 Отдел водных ресурсов Невско-Ладужского БВУ по Санкт-Петербургу и Ленинградской области
- 12.2 Отдел водных ресурсов Невско-Ладужского БВУ по Калининградской области
- 12.3 Отдел водных ресурсов Невско-Ладужского БВУ по Республике Карелия
- 12.4 Отдел водных ресурсов Невско-Ладужского БВУ по Новгородской области
- 12.5 Отдел водных ресурсов Невско-Ладужского БВУ по Псковской области
- 13 Нижне-Волжское БВУ <http://www.nvbvu.ru/>
- 13.1 Отдел водных ресурсов Нижне-Волжского БВУ по Астраханской области
- 13.2 Отдел водных ресурсов Нижне-Волжского БВУ по Волгоградской области
- 13.3 Отдел водных ресурсов Нижне-Волжского БВУ по Самарской области
- 13.4 Отдел водных ресурсов Нижне-Волжского БВУ по Саратовской области
- 13.5 Отдел водных ресурсов Нижне-Волжского БВУ по Республике Татарстан
- 13.6 Отдел водных ресурсов Нижне-Волжского БВУ по Ульяновской области
- 13.7 Отдел водных ресурсов Нижне-Волжского БВУ по Оренбургской области
- 14 Нижне-Обское БВУ <http://nobwu.ru/>

- 14.1 Отдел водных ресурсов Нижне-Обского БВУ по Курганской области
 - 14.2 Отдел водных ресурсов Нижне-Обского БВУ по Свердловской области
 - 14.3 Отдел водных ресурсов Нижне-Обского БВУ по Тюменской области
 - 14.4 Отдел водных ресурсов Нижне-Обского БВУ по Ханты-Мансийскому АО
 - 14.5 Отдел водных ресурсов Нижне-Обского БВУ по Челябинской области
 - 14.6 Отдел водных ресурсов Нижне-Обского БВУ по Ямало-Ненецкому АО
 - 14.7 Отдел водных ресурсов Нижне-Обского БВУ по Омской области
 - 15 Управление водных ресурсов озера Байкал (Байкалводресурсы)
- <http://baikalvod.sdep.ru/>

Кроме того существует ряд организаций находящихся в ведении Федерального агентства <http://voda.mnr.gov.ru/part/?pid=137>

2. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды В ее состав входят следующие объекты осуществляющие мониторинг окружающей среды.

- 1 Верхне-Волжское территориальное управление Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
 - 1. Государственное учреждение "Кировский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды" (ГУ " Кировский ЦГМС")
 - 2. ГУ " Марийский ЦГМС"
 - 3. ГУ " Мордовский ЦГМС"
 - 4. Государственное учреждение "Нижегородский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями" (ГУ " Нижегородский ЦГМС-Р")
 - 5. ГУ " Удмуртский ЦГМС"
 - 6. ГУ " Чувашский ЦГМС"
- 2 Дальневосточное территориальное управление Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
 - 1. ГУ " Амурский ЦГМС"
 - 2. Государственное учреждение "Хабаровский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с функциями регионального специализированного метеорологического центра Всемирной службы погоды" (ГУ " Хабаровский ЦГМС - РСМЦ")
- 3 Забайкальское территориальное управление Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
 - 1. ГУ " Бурятский ЦГМС"
 - 2. ГУ " Читинский ЦГМС-Р"
- 4 Западно-Сибирское территориальное управление Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
 - 1. ГУ " Алтайский ЦГМС"
 - 2. ГУ "Горно-Алтайский ЦГМС"
 - 3. ГУ " Кемеровский ЦГМС"
 - 4. ГУ " Новосибирский ЦГМС - РСМЦ"
 - 5. ГУ " Томский ЦГМС"
- 5 Иркутское территориальное управление Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
 - 1. ГУ «Иркутский ЦГМС-Р»
- 6 Обь-Иртышское территориальное управление Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
 - 2. ГУ " Омский ЦГМС-Р"
 - 3. ГУ " Тюменский ЦГМС"

4. ГУ " Ханты-Мансийский ЦГМС"
5. ГУ " Ямало - Ненецкий ЦГМС"
- 7 Приволжское территориальное управление Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
 1. ФГУ " Оренбургский ЦГМС"
 2. ГУ "Пензенский ЦГМС"
 3. ГУ " Самарский ЦГМС-Р"
 4. ФГУ "Саратовский ЦГМС"
 5. ГУ "Ульяновский ЦГМС"
- 8 Северное территориальное управление Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
 1. ГУ "Архангельский ЦГМС - Р"
 2. ГУ "Вологодский ЦГМС "
 3. ГУ "Коми ЦГМС"
- 9 Северо-Западное территориальное управление Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
 1. ГУ "Карельский ЦГМС"
 2. ГУ "Новгородский ЦГМС"
 3. ГУ "Псковский ЦГМС"
 4. ГУ "Санкт-Петербургский ЦГМС-Р "
 5. ФГУ "Калининградский ЦГМС"
- 10 Северо-Кавказское территориальное управление Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
 1. ГУ "Адыгейский ЦГМС"
 2. ГУ "Астраханский ЦГМС"
 3. ГУ "Волгоградский ЦГМС"
 4. ГУ "Дагестанский ЦГМС"
 5. ГУ "Ингушский ЦГМС"
 6. ГУ "Кабардино-Балкарский ЦГМС"
 7. ГУ "Калмыцкий ЦГМС"
 8. ГУ "Карачаево-Черкесский ЦГМС"
 9. ГУ "Краснодарский ЦГМС"
 10. ГУ "Ростовский ЦГМС-Р"
 11. ГУ "Северо-Осетинский ЦГМС"
 12. ГУ "Ставропольский ЦГМС"
 13. Государственное учреждение "Специализированный центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Черного и Азовского морей" (ГУ "СЦГМС ЧАМ")
 14. ФГУ "Чеченский ЦГМС"
- 11 Среднесибирское территориальное управление Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
 1. ГУ "Красноярский ЦГМС-Р"
 2. ГУ "Тувинский ЦГМС"
 3. ГУ "Хакаский ЦГМС"
- 12 Уральское территориальное управление Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
 1. ГУ "Курганский ЦГМС"
 2. ГУ "Пермский ЦГМС"
 3. ГУ "Свердловский ЦГМС-Р"
 4. ФГУ "Челябинский ЦГМС"
- 13 Центральное территориальное управление Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

1. ГУ "Владимирский ЦГМС"
 2. ГУ "Ивановский ЦГМС"
 3. ГУ "Калужский ЦГМС"
 4. ГУ "Костромской ЦГМС"
 5. ГУ "Московский ЦГМС-Р"
 6. ГУ "Рязанский ЦГМС"
 7. ГУ "Смоленский ЦГМС"
 8. ГУ "Тверской ЦГМС"
 9. ГУ "Тульский ЦГМС"
 10. ГУ "Ярославский ЦГМС"
- 14 Центрально-Черноземное территориальное управление Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
1. ГУ "Белгородский ЦГМС"
 2. ГУ "Брянский ЦГМС"
 3. ГУ "Воронежский ЦГМС"
 4. ГУ "Курский ЦГМС-Р"
 5. ГУ "Липецкий ЦГМС"
 6. ГУ "Орловский ЦГМС"
 7. ФГУ «Тамбовский ЦГМС»
- 15 Государственное учреждение "Башкирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды" ГУ " Башкирское УГМС")
- 16 ГУ " Камчатское УГМС"
 - 17 ГУ " Колымское УГМС"
 - 18 ГУ " Мурманское УГМС"
 - 19 ГУ "Приморское УГМС"
 - 20 ГУ "УГМС Республики Татарстан"
 - 21 ГУ "Сахалинское УГМС"
 - 22 ГУ "Чукотское УГМС"
 - 23 ФГУ "Якутское УГМС"
 - 24 Федеральное государственное учреждение "Агентство экспедиционного флота 25 Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды"

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИАПУ ДВО РАН

Ю. Н. Кульчин

«28 » сентября 2012 г.

**АКТ
испытаний**

модернизированного экспериментального макета измерительного комплекса для измерения концентрации и определения параметров фотосинтеза фитопланктона в морской воде

Государственный контракт от «12» мая 2011 г. № 16.518.11.7050
Шифр «2011-1.8-518-005-029»

«28» сентября 2012 г.

2.

Комиссия в составе:

председателя	<i>Зав. лабораторией</i>	<i>А.Н. Павлов</i>
членов комиссии	<i>С.н.с.</i>	<i>Е.Л. Гамаюнов</i>
	<i>С.н.с.</i>	<i>С.Ю. Столярчук</i>
	<i>В.н.с.</i>	<i>А.Ю. Майор</i>
	<i>М.н.с.</i>	<i>А.А. Коротенко</i>
секретаря комиссии	<i>М.н.с.</i>	<i>А.Ю. Попик</i>

провела испытания модернизированного экспериментального макета измерительного комплекса для измерения концентрации и определения параметров фотосинтеза фитопланктона в морской воде (далее – объект испытаний).

Испытания проведены в *Институте автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения РАН* по Программе и методикам №2 [16.518.11.7050].

1. Комиссией установлено:

- 1.1. Программа испытаний выполнена полностью.
- 1.2. Состав и комплектность объекта испытаний соответствует техническому заданию.
- 1.3. Объект испытаний выдержал испытания по Программе и методикам №2 [16.518.11.7050].

2. Выводы

- 2.1. Объект испытаний соответствует заданным в техническом задании

требованиям, перечисленным в Программе и методиках.

3. Замечания и рекомендации

Модернизированный экспериментальный макет комплекса для измерения концентрации и определения параметров фотосинтеза фитопланктона в морской воде обладает улучшенными характеристиками и рекомендуется к использованию для выполнения научных исследований или контроля качества воды в составе мобильных лабораторий на малых судах и яхтах.

Приложение

Протокол испытаний модернизированного экспериментального макета измерительного комплекса.

Председатель комиссии

А. Н. Павлов

Члены комиссии

Е. Л. Гамаюнов

С. Ю. Столярчук

А. Ю. Майор

А. А. Коротенко

Секретарь комиссии

А. Ю. Попик

ПРОТОКОЛ
испытания по пункту № 3.3
Программы и методики №2
[16.518.11.7050]

13 сентября 2012 г.

- 1. Объект испытания:** измеритель параметров фотосинтеза.
- 2. Цель испытания:** проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта № 6.1 технического задания.
- 3. Дата начала испытания:** 13 сентября 2012 г.
- 4. Дата окончания испытания:** 13 сентября 2012 г.
- 5. Место проведения испытания:** МЭС «Мыс Шульца»
- 6. Результаты испытания**

Проверка по п. 3.3.1 Программы выполняется следующим образом

Погрешность измерений концентрации хлорофилла *a* в диапазоне 1-10 мкг/л определяется путем проведения совместных измерений в морской среде (*in situ*) с помощью разработанного измерителя параметров фотосинтеза (ИПФ) и флуориметра WetLabs, устанавливаемого на зонде SeaBird SBE19Plus. Исходные результаты измерений ИПФ некалиброваны и представлены в относительных единицах. Результаты измерений с датчика WetLabs представлены в единицах измерений концентрации хлорофилла «а» - мкг/л.

Измерения концентрации хлорофилла *a* датчиком WetLabs представлены дублирующимися кривыми, что объясняется работой датчика при спуске и подъеме зонда SeaBird. Результаты обоих измерений усредняются. Концентрация хлорофилла в местах измерений варьируется от 0,5 мкг/л до 5,4 мкг/л. В каждом месте замера выбрано пять глубин для выполнения измерений – от 0 до 20 метров каждые 5 м. Замеры выполнены с промежутками в 30 минут.

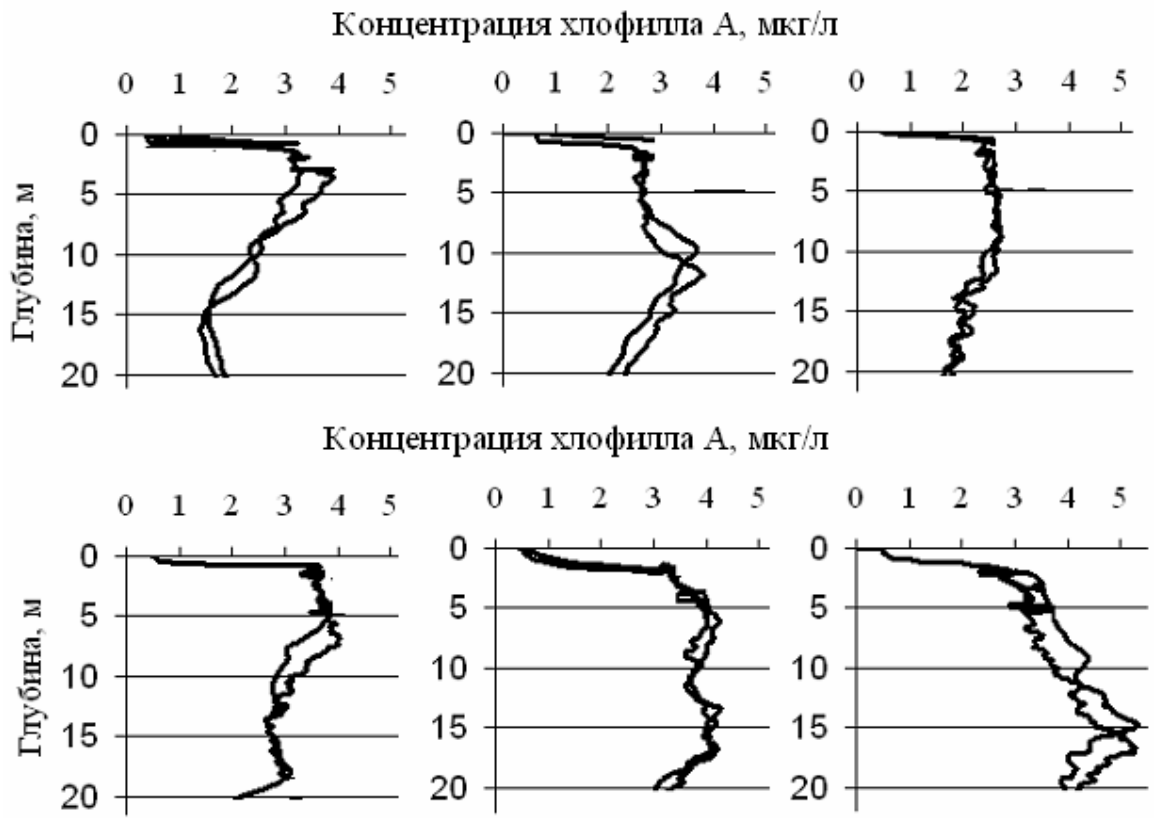


Рисунок 1. Распределения концентрации хлорофилла «а» по датчику WetLabs в разное время суток.

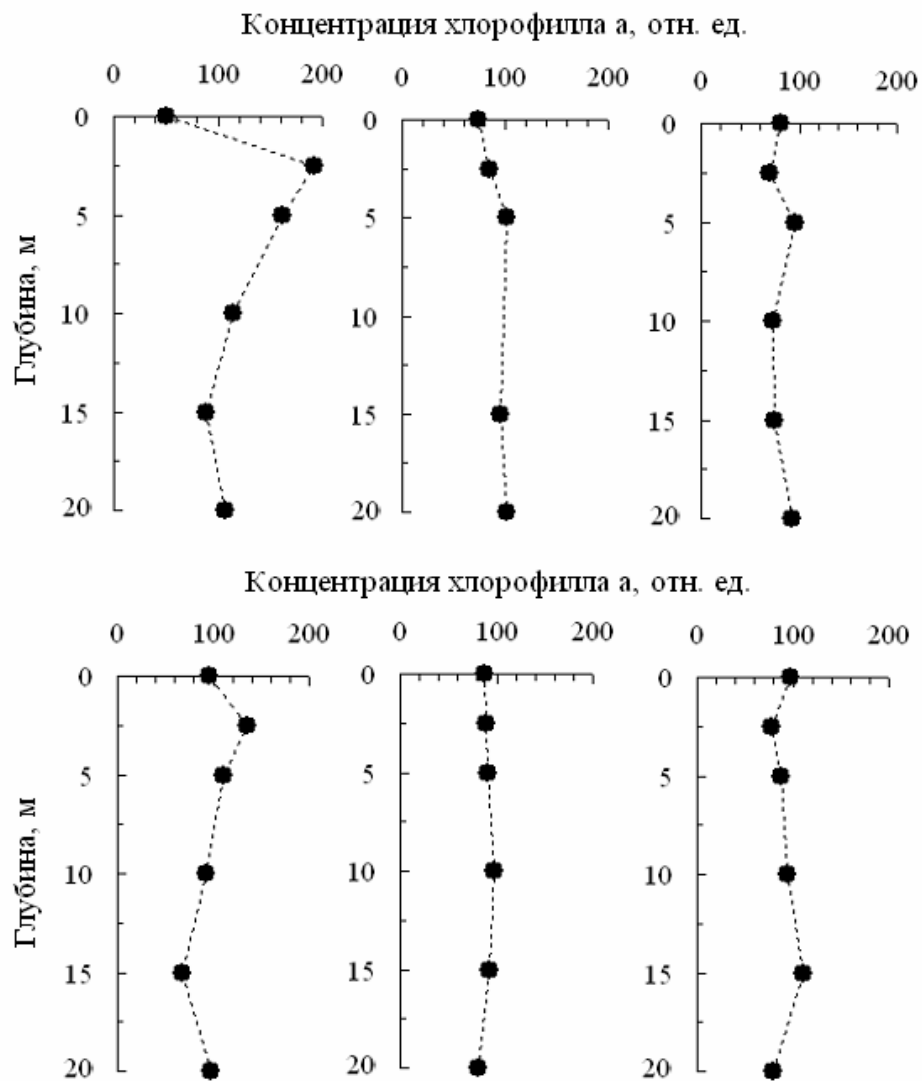


Рисунок 2. Результаты измерения хлорофилла «а» с помощью ИПФ в разное время суток.

Измерения концентрации хлорофилла *a*, полученные с помощью ИПФ, корректируются по формуле:

$$C_{\text{мкг/л}} = \frac{C_{\text{ОВФ}}}{1000} - 1,25 \text{ (мкг/л)},$$

где $C_{\text{ОВФ}}$ – исходные данные, полученные с помощью ИПФ.

Результат поправки данных приведён на графиках (рис.3).

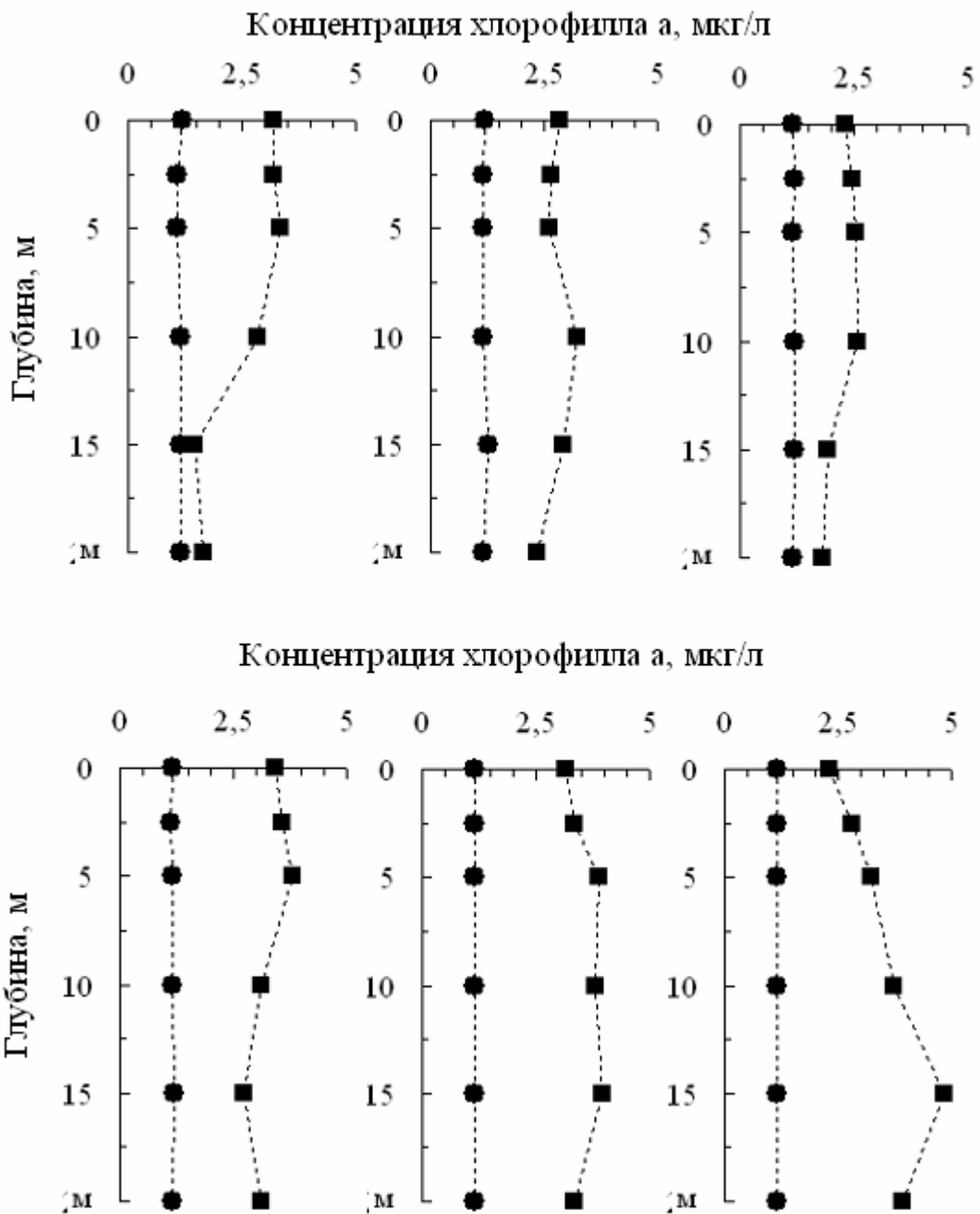


Рисунок 3. Результат измерений концентрации хлорофилла *a*

■ – показания WetLabs, ● – показания ИПФ

Погрешность измерения концентрации хлорофилла *a* с помощью ИПФ составила от 47 % до 67 %.

Проверка по п. 3.3.2 методики №2

Минимально обнаружимая концентрация хлорофилла *a* определяется по эталонным растворам с известной концентрацией хлорофилла *a*. Эксперимент выполнялся в лабораторных условиях. Эталонные растворы приготовлены с применением дистиллированной воды.

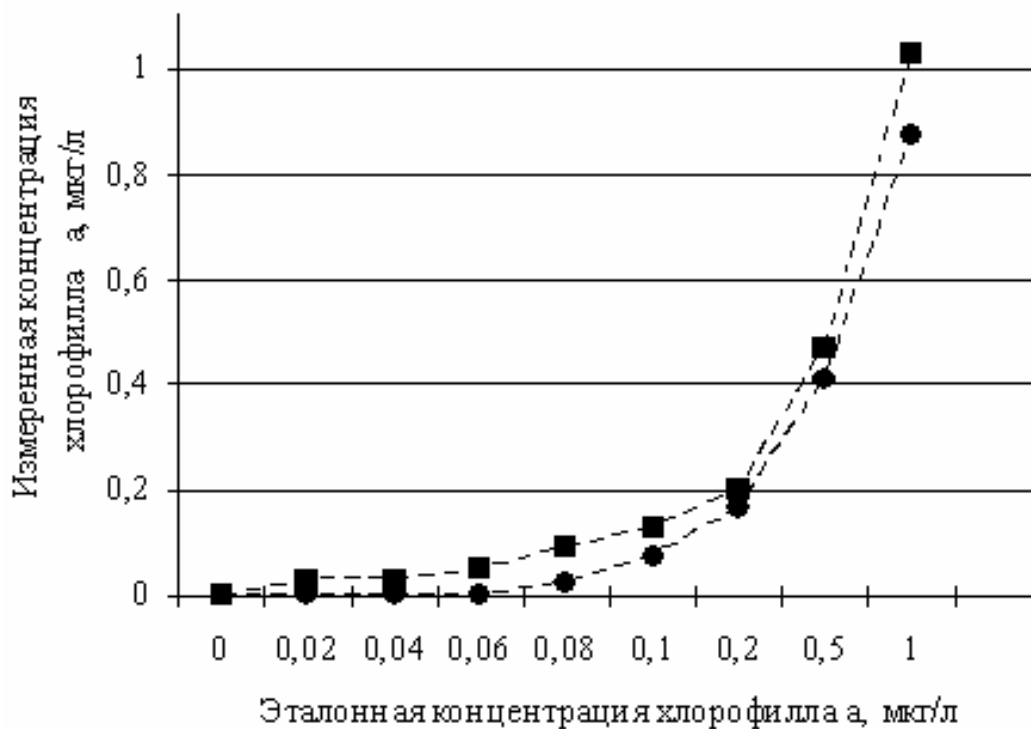


Рисунок 4. Сравнение измеренной и истинной концентрации хлорофилла *a*

■ – датчик WetLabs, ● - ИПФ

По графику сравнения измеренной концентрации и истинной концентрации хлорофилла *a*, видно, что при минимальное измеряемое значение концентрации хлорофилла *a* измерителем параметров фотосинтеза составляет 0.08 мкг/л.

Таблица 1

Наименование параметра	Ед. изм.	Номера пунктов		Требования к параметру	Измеренное значение	Примечание
		Программы испытаний	Методики испытаний			
Погрешность измерений концентрации хлорофилла <i>a</i> в диапазоне концентраций 1-10 мкг/л	%	3.3.1	5.1.	20	67	Не соответствует
Минимально обнаружимая концентрация	мкг/л	3.3.2	5.2.	0,1	0,08	Соответствует

7. Замечания и рекомендации

Погрешность измерений по п.п. 3.3.1 и 3.3.2 определяется погрешностью эталонного прибора Seabird. Превышение допустимой погрешности по п.3.3.1 объясняется тем, что предварительные испытания выполнялись в чистых растворах хлорофилла, а натурные испытания измерителя параметров флуоресценции выполнялись в реальных условиях в морской воде в прибрежной зоне. Наличие взвесей в воде привело к тому, что повышенная мутность ослабила мощность индуцирующего излучения и флуоресцентного сигнала.

Обнаружено, что спектр излучения светодиода, взятого в качестве источника индуцирующего света, излучает не только в области 445 ± 10 нм, но и имеет фоновое излучение в диапазоне 455-690 нм с максимумом на 670-680 нм (область приёма флуоресценции) на уровне 0,01% от максимума основной длины волны. Данное фоновое излучение вносит вклад в общий уровень принимаемого сигнала.

Кроме того, в морской воде присутствуют растворённые органические вещества флуоресцирующие в диапазоне 450-800 нм.

Чувствительность в области приёма флуоресценции (680-690 нм) не более 60 %, максимум чувствительности приходится на диапазон 400-500 нм.

8. Выводы

8.1 Объект испытания **измеритель параметров фотосинтеза** не выдержал испытание по пункту 3.3 Программы и методики испытаний №2 и требует доработки путём модернизации, в частности замены источника излучения и приёмника флуоресцентного сигнала:

- заменить источник индуцирующего света на излучатель с узкой полосой свечения (лазерный диод),
- заменить приёмник излучения на приёмник с более оптимальным АЧХ (с наибольшей чувствительностью в диапазоне 670-690 нм)

8.2 Объект испытания **измеритель параметров фотосинтеза** соответствует требованиям пункта 6.1 технического задания.

Испытания проводили:

С.н.с. Е.Л. Гамаюнов

М.н.с. А.А. Коротенко

М.н.с. А.Ю. Попик

РАСЧЕТ СЕБЕСТОИМОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОНИТОРИНГА
МОРСКИХ АКВАТОРИЙ В ЗАВОДСКИХ УСЛОВИЯХ

Себестоимость – это затраты предприятия, выраженные в денежной форме, на производство и реализацию продукции. Себестоимость показывает нижнюю границу цены продукции, при которой осуществляется безубыточное производство. Вычисления выполнены расчетно-аналитическим методом, как наиболее точным и совершенным методом калькулирования себестоимости продукции.

Состав статей калькуляции для различных отраслей и производств различен и не регламентируется. Калькуляция разрабатываемого изделия включает в себя следующие статьи:

- сырье и материалы;
- покупные комплектующие изделия;
- расходы на оплату труда (основная заработная плата производственных рабочих, дополнительная заработная плата),
- отчисления (отчисления на социальное страхование, отчисления в пенсионный фонд, отчисления в фонд занятости, отчисления на медицинское страхование);
- общезаводские и цеховые расходы;
- внепроизводственные расходы.

Таблица 1 – Стоимость покупных комплектующих и материалов

Наименование	Цена за ед., руб.	Кол-во	Цена, руб.
Эхолот Furuno FCV-1150	240 000	1	240 000
Лазер CFR 400	1 300 000	1	1 300 000
АЦП двухканальный быстродействующий	154 226	1	154 226

Продолжение таблицы 1

Иллюминатор погружаемый	43 500	1	43 500
Оборудование для измерения температуры и давления	439 000	1	439 000
Оптические волокна и компоненты	148 980	1	148 980
Фотоприёмное устройство	79 000	1	79 000
Материалы для изготовления механических элементов гидроакустического лидара	19 800	1	19 800
Материалы для изготовления механических элементов оптоволоконной системы	16 500	1	16 500
Материалы для изготовления кабель-троса	35 900	1	35 900
Плата управления излучающими диодами	2 000	1	2 000
Преобразователь интерфейсов L-201	1 650	3	4 950
Оптические элементы для оптоволоконной системы	17 600	1	17 600
Электронные компоненты для оптоволоконной системы	6 500	6	39 000
Прочие материалы	25 000	1	25 000
Итого, руб			2 565 456

Расчёт затрат на выполнение сборочно-монтажных работ.

Основная заработная плата:

$$Z_i = T_i \cdot H_{vi}, \quad (1)$$

где T_i - тарифная ставка i -го рабочего;

H_{vi} - норма рабочего времени выполнения i -го вида работ.

Дополнительная заработная плата:

$$Z_{допл} = \frac{Z_i \cdot H_{д.з.}}{100\%}, \quad (2)$$

где $H_{д.з.}=34\%$ - расчетный процент дополнительной заработной платы производственных рабочих.

Отчисления в федеральный бюджет:

$$Z_{\phi i} = \frac{(Z_i + Z_{\text{допл}}) \cdot H_{\phi}}{100\%}, \quad (3)$$

где $H_{\phi} = 26\%$ - процент отчислений в пенсионный фонд.

Отчисления на социальное страхование:

$$Z_{\text{cci}} = \frac{(Z_i + Z_{\text{допл}}) \cdot H_c}{100\%}, \quad (4)$$

где $H_c = 3,1\%$ - процент отчислений на социальное страхование.

Отчисления на медицинское страхование:

$$Z_{\text{mi}} = \frac{(Z_i + Z_{\text{допл}}) \cdot H_m}{100\%}, \quad (5)$$

где $H_m = 3,1\%$ - процент отчислений на медицинское страхование.

Таблица 2 – Расчет заработной платы и отчислений

Наименование выполняемых работ	Нв _і , ч.	Т _і , руб.	Z_i , руб.	$Z_{\text{допл}}$, руб.	$Z_{\phi i}$, руб.	Z_{cci} , руб.	Z_{mi} , руб.
Доработка эхолотационного оборудования	8	60	480	163	167	10	20

Продолжение таблицы 2

Изготовление гидроакустического лидара	56	100	5 600	1 904	1 951	112	233
Изготовление погружаемого модуля	40	80	3 200	1 088	1 115	64	133
Изготовление измерительного блока	120	100	12 000	4 080	4 181	240	498
Изготовление кабель-троса	80	60	4 800	1 632	1 672	96	199
Контроль и проверка эксплуатационных характеристик эхолокационной системы	4	120	480	163	167	10	20
Контроль и проверка эксплуатационных характеристик гидролидарной системы	8	120	960	326	334	19	40
Контроль и проверка эксплуатационных характеристик оптоволоконной системы	14	120	1 680	571	585	34	70
Итого, руб			29 200	9 928	10 173	583	1 213

Транспортные расходы:

$$C_{т.з.} = K \cdot C_{м.к.}, \quad (6)$$

где $C_{м.к.}$ - суммарная стоимость комплектующих и материалов;

K - нормативный коэффициент (0.02-0.25), $K = 0.05$.

$$Ст.з. = 0,05 \cdot 2565456 = 128\,273 \text{ руб.}$$

Цеховая себестоимость:

$$C_{ц} = \sum_{i=1}^n z_i \cdot \frac{\delta}{100\%}, \quad (7)$$

где $\delta = 250\%$.

$$C_{ц} = 29200 \cdot 2,5 = 73\,000 \text{ руб.}$$

Общезаводские расходы:

$$C_o = \sum_{i=1}^n z_i \cdot \frac{H_3}{100\%}, \quad (8)$$

где $H_3 = 400\%$ - процент общезаводских косвенных расходов к основной заработной плате производственных рабочих.

$$C_o = 29200 \cdot 4 = 116800 \text{ руб.}$$

Заводская себестоимость:

$$C_{зав} = C_{м.к.} + C_{м.з.} + \sum Z_i + \sum Z_{допi} + \sum Z_{отчислi} + C_{ц} + C_o \quad (9)$$

$$C_{зав} = 2565456 + 128273 + 29000 + 9928 + 10173 + 583 + 1213 + 73000 + 116800 = 2\,934\,626 \text{ руб.}$$

Внепроизводственные расходы:

$$Z_{внепр} = C_{зав} \cdot \frac{H_{вп}}{100\%}, \quad (10)$$

где $H_{вп} = 7,2\%$ — процент внепроизводственных расходов к заводской себестоимости.

$$Z_{внепр} = 2934626 \cdot 0,072 = 211\,293 \text{ руб.}$$

Полная себестоимость:

$$C = C_{зав} + Z_{внепр}. \quad (11)$$

$$C = 2934626 + 211293 = 3\,145\,919 \text{ руб.}$$

Основную долю стоимости определяют дорогостоящее зарубежное оборудование. Основной путь снижения себестоимости – это поиск и наладка поставок комплектующих российского производства.