

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Институт автоматики и процессов управления

УДК 535.31, 29.31:27
№ госрегистрации
01200960088
Инв. №

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИАПУ ДВО РАН
чл.-корр. РАН

_____ Кульчин Ю.Н.

21 сентября 2010 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

«РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И АППАРАТУРНЫХ СРЕДСТВ
ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ И
СОСТОЯНИЯ МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСУ
«ЛАЗЕРНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД,
БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ
СРЕДЫ»

шифр «2009-07-1.8-00-05-047»

Государственный контракт от 08 июня 2009 г. № 02.518.11.7152

Этап 4

Проведение дополнительных исследований, обобщение и оценка результатов
исследований.

(заключительный)

Руководитель темы _____, 20.09.2010 А. Н. Павлов
подпись, дата

Владивосток 2010

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы

Зав. лабораторией

д-р физ.-мат.наук

_____ А. Н. Павлов (разделы Введение, Заключение,
раздел 1)

подпись, дата

Исполнители:

Зав. лабораторией,

К.т.н.

_____ А.И. Алексанин (разделы 2-7)

подпись, дата

Зав. лабораторией

к.ф. – м.н.

_____ П.А. Салюк (раздел 3,5)

подпись, дата

Ведущий научный сотрудник

д.т.н.

_____ А.Ю. Майор (раздел 4,5)

подпись, дата

В выполнении работ приняли участие следующие молодые специалисты:

Бабяк Павел Владимирович

Боловин Дмитрий Алексеевич

Боловина Оксана Алексеевна

Буланов Алексей Владимирович

Голик Сергей Сергеевич

Дорошенко Иван Михайлович

Дьяков Сергей Евгеньевич

Загуменнов Алексей Андреевич

Карнацкий Антон Юрьевич

Катаманов Сергей Николаевич

Качур Василий Анатольевич

Клюгер Константин Сергеевич

Крикун Владимир Александрович

Круглов Михаил Владимирович

Ластовская Ирина Анатольевна

Нагорный Иван Григорьевич

Недолужко Илья Валерьевич

Прощенко Дмитрий Юрьевич

Салюк Павел Анатольевич

Соколова Екатерина Борисовна

Степочкин Игорь Евгеньевич

Чехленок Алексей Анатольевич

Шмирко Константин Александрович

РЕФЕРАТ

Отчет 312 с., 106 Рисунков , 30 табл., 76 источников, приложений 6.

АЭРОЗОЛЬ, РАДИАЦИОННО-АКТИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ АТМОСФЕРЫ, ЛИДАР, ХЛОРОФИЛЛ А, СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ.

Объект исследования или разработки:

Методы и аппаратные средства исследования процессов, воздействующих на морские экосистемы.

Цель работы:

Проведение исследований в области: прогнозирования состояния окружающей среды, физических и химических процессов в ней, оценки и освоения ресурсов. Изучение воздействия природных и антропогенных факторов на экологическое состояние атмосферы и гидросферы на основе современных методов оперативного мониторинга окружающей среды. Разработка методов и аппаратных средств мониторинга атмосферы, гидросферы и состояния морских экосистем.

Проведение исследований и обеспечение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ, проводимых организациями Российской Федерации, с предоставлением возможности использования методов научных исследований, разработанных или освоенных для уникальной установки, стенда (УСУ).

Развитие материально-технической базы УСУ путем дооснащения имеющихся специализированных комплексов (лабораторий), приобретаемым научным оборудованием для обеспечения и развития исследований в форме коллективного пользования.

Результаты работы:

1. Разработана двухуровневая система оперативного контроля загрязнения небольших морских акваторий органическими соединениями, образующими пленки на морской поверхности. Первый уровень контроля обеспечивает видео-регистрацию и картирование снимков на морской поверхности в режиме мониторинга. Второй уровень обеспечивает идентификацию поверхностно-активных веществ (ПАВ) по их спектрам флуоресценции при лидарном зондировании морской поверхности с борта судна.
2. Разработан комплекс мобильных средств оперативного контроля экологического состояния морских акваторий и атмосферы на основе оптических методов зондирования.
3. Разработана методика проведения подспутниковых измерений с целью верификации биооптических спутниковых алгоритмов и процедуры коррекции данных спутниковых спектральных каналов на атмосферные искажения.
4. Создана система построения композиционных карт температурных полей океана (ТПО) по данным спутника MTSAT-1R. Организован доступ к оперативным микроволновым измерениям ТПО. Созданы и апробированы средства восполнения спутниковых ИК-измерений ТПО микроволновыми измерениями ТПО.
5. На основе средств Европейского космического агентства создан программный комплекс автоматического расчета профилей температуры и влажности атмосферы. Программные средства включены в распределенную систему обработки данных Спутникового центра и развернуты на мощностях Суперкомпьютерного центра ДВО РАН, позволяющего вести глубокое распараллеливание вычислений с высокой точностью. Созданные средства позволяют осуществлять удаленный запуск комплекса и получать результат в режиме реального времени (в течение 15 минут после приема данных).

6. Разработана и введена в эксплуатацию вычислительная система автоматического расчета биопараметров моря по данным спутниковых радиометров «MODIS».
7. Выполнены исследования пространственной и временной изменчивости спектральной плотности атмосферной оптической толщи в переходной зоне материк-океан Дальневосточного региона.
8. Исследована сезонная изменчивость вертикальных профилей оптических и микрофизических характеристик тропосферного аэрозоля и концентрации озона в стратосфере Дальневосточного региона.
9. Изучены факторы, влияющие на аэрозольный форсинг в Дальневосточном регионе.
10. Исследована связь погрешностей спутниковых алгоритмов атмосферной коррекции с региональными особенностями оптических характеристик атмосферы.

Область применения:

Научно-исследовательская деятельность в области рационального природопользования, экологический контроль морских акваторий.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	11
I РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ НА ПРЕДЫДУЩИХ ЭТАПАХ РАБОТ..	13
1.1 Этап №1.....	13
1.1 Этап №2.....	18
1.1 Этап №3.....	21
II РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВИДОВОГО СОСТАВА ВОДОРΟΣЛЕЙ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА ВРЕДНОСНОГО ЦВЕТЕНИЯ ВОДОРΟΣЛЕЙ.	24
2.1 Организация исследований по оценке экологического состояния морских акваторий средствами дистанционного зондирования..	24
2.2 Фитопланктон залива Петра Великого и задача его дистанционного зондирования.....	36
III ОБОБЩЕНИЕ ДАННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ И МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ	61
3.1 Общая характеристика выполненных работ.....	61
3.2 Автоматизированный комплекс мониторинга загрузки атмосферы антропогенным и естественным аэрозолем на основе сети солнечных фотометров и передвижной станции, включающей метеостанцию, солнечный фотометр и трехчастотный аэрозольный лидар.....	65
3.3 Автоматизированный комплекс мобильных средств оперативного контроля состояния клеток фитопланктона, как важнейшего индикатора экологического состояния водоемов.....	68

3.4 Автоматизированный комплекс инструментальных средств дистанционного оптического мониторинга загрязнения морских поверхностей.	87
3.5 Алгоритмы спутникового мониторинга экологического состояния водоемов и атмосферы над ними.....	99
3.6 Алгоритм для распознавания типа водоросли по данным дистанционного зондирования (спутниковым и/или мобильным радиометром)	103
3.7 Алгоритм построения температуры моря по данным спутника MTSAT-1R.	105
3.7.1 Создание алгоритма расчета ТПО.	105
3.7.2 Построение композиционных карт.	117
3.8 Алгоритм восстановления концентрации хлорофилла-а и растворенного органического вещества из спутниковых данных по цвету моря для залива Петра Великого	127
3.9 Методика верификации спутниковых измерений на основе маршрутных судовых подспутниковых измерений биооптических характеристик морской толщи и стационарных наземных наблюдений характеристик атмосферы.	133
3.10 Пополнение методологической базы УСУ "ЛаМИ"	142
3.10.1 Унифицированная программа обработки данных лазерного зондирования "LidarProcessor"	142
3.10.2 Вычислительная система автоматического расчета биопараметров моря	149
3.10.3 Программа обработки данных солнечной фотометрии.....	159
3.10.4. Программный комплекс для расчета профилей температуры и влажности атмосферы.....	165
IV ПРОВЕДЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	169

V. РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ НИР.....	174
5.1 Пространственная и временная изменчивость атмосферного аэрозоля, озона, водяного пара, метеопараметров.....	174
5.2 Лабораторные исследования по лазерной флуориметрии и фотометрии культур водорослей в зависимости от стадии развития	194
5.3 Спектральные характеристики (коэффициенты поглощения и рассеяния назад) типичных для залива Петра Великого и вредоносных видов фитопланктона по данным измерений <i>in situ</i> в море и в выращенных культурах	205
5.4 Пространственная изменчивость биооптических и гидрологических характеристик в отдельных районах Японского моря	212
VI МЕРОПРИЯТИЯ ПО ТЕКУЩЕМУ СОДЕРЖАНИЮ И МОДЕРНИЗАЦИИ УСУ..	223
6.1 Модернизация станции МЕТЕОРИТ.....	223
6.2 Техническое обслуживание и модернизация эксимерного лидара...	230
6.3 Модернизация тропосферного аэрозольного лидара	234
6.4 Закупка современного оборудования	239
VII ПРОВЕДЕНИЕ РАБОТ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЕДИНСТВА И ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ.	258
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	265
Список использованных источников.....	275
Приложение А. Список сокращенных названий родов водорослей	285
Приложение Б. СПРАВКА о числе публикаций, содержащих результаты интеллектуальной деятельности, полученные в рамках выполнения проекта по государственному контракту	287
Приложение В. СПРАВКА о числе диссертационных работ на соискание ученых степеней, защищенных в рамках выполнения	

проектов (подготовленных по результатам исследований с использованием научного оборудования сети центров) по государственному контракту.....	291
Приложение Г. СПРАВКА о числе патентов и поданных заявок на результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученных в рамках работ по государственному контракту.....	293
Приложение Д. СПРАВКА о количестве дипломных работ, подготовленных по результатам исследований с использованием научного оборудования сети центров в рамках государственного контракта.....	294
Приложение Е. СПРАВКА СПРАВКА о числе организаций-пользователей уникальных стендов, установок и объектов научной инфраструктуры в рамках государственного контракта.....	298

ВВЕДЕНИЕ

Цель настоящего проекта состояла в разработке аппаратных и методологических средств оперативного контроля состояния атмосферы и гидросферы, изучения воздействия природных и антропогенных факторов на экологическое состояние окружающей среды и морские экосистемы, в частности. Поскольку четвертый этап является заключительным этапом всего проекта, то согласно пунктам календарного плана основное внимание было уделено обобщению полученных ранее результатов и проведению экспериментальных работ, связанных с апробацией аппаратуры и методологического обеспечения. Отчет состоит из семи глав. В первой главе приведены краткие сведения о проделанной работе и результаты, полученные на каждом из этапов. Названия глав со второй по четвертую полностью соответствуют пункту «Содержание выполняемых работ» календарного плана четвертого этапа выполнения работ по государственному контракту.

Во второй главе сформулирована стратегия дистанционного мониторинга вредоносного цветения водорослей и приведены результаты разработки аппаратурных и алгоритмических средств для достижения этой цели.

Третья глава посвящена обобщению полученных результатов. Ее структура такова, что каждый подраздел этой главы включает результаты по созданию научно-технической продукции, перечень которой содержится в техническом задании государственного контракта.

В четвертой главе сделана попытка выполнить технико-экономическую оценку полученных результатов в соответствии с перечнем показателей технического задания к государственному контракту.

Названия глав с пятой по седьмую соответствуют остальным пунктам перечня раздела «Содержание основных работ» технического задания.

В главе 5 приведены основные результаты натурных экспериментов в предметной области НИР с использованием средств УСУ «ЛаМИ».

В главе 6 приведена расширенная информация по текущему содержанию и модернизации УСУ. Здесь же приведен список закупленного из средств Госконтракта оборудования.

Седьмая глава посвящена обсуждению результатов проведения работ по обеспечению единства и достоверности измерений.

І РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ НА ПРЕДЫДУЩИХ ЭТАПАХ РАБОТ.

1.1 Этап № 1

Согласно техническому заданию на первом этапе выполнения работ по контракту решались задачи подготовительного характера. Был выполнен литературный обзор современного состояния дел в предметной области НИР, который позволил конкретизировать задачи следующих этапов и наметить пути их решения. Одновременно проводилось накопление данных в области дистанционного оптического и спутникового зондирования атмосферы и океана, которые на последующих этапах использовались для решения задач развития аппаратных и методологических средств УСУ. Результаты литературного обзора в области экологического спутникового мониторинга океана (биооптических характеристик, вредоносного цветения водорослей (ВЦВ), загрязнения морской поверхности нефтепродуктами) позволили определить состав ключевых параметров окружающей среды (физических, химических, биологических), которые необходимо контролировать для решения задач, и сформулировать стратегию проведения подспутниковых измерений, натуральных (дистанционных и *in situ*) и лабораторных исследований.

Ниже приводятся выводы анализа литературных данных по проблеме контроля ВЦВ. Они приведены в развернутом виде, поскольку наиболее ярко отражают особенности экологического мониторинга морских акваторий.

В соответствии со своими задачами, мониторинг ВЦВ должен включать следующие параметры окружающей, представленные в таблице 1.1.1

Таблица 1.1.1 Ключевые параметры окружающей среды

Физические	Химические	Биологические
Температура (вертикальный профиль); скорость и направление течения (вертикальный	Соленость (вертикальный профиль); содержание кислорода (вертикальный профиль); биогены: азот,	Фитопланктон: токсические виды; мезозоопланктон; протозоопланктон;

профиль); скорость и направление ветра.	фосфор, силикаты; хлорофилл (вертикальный профиль).	пелагические бактерии; рыбы; бентос; птицы
---	---	--

Теоретическую и организационную основу сети мониторинга ВЦВ можно представить в форме таблицы 1.1.2.

Таблица 1.1.2. Основы мониторинга ВЦВ.

Элементы мониторинга	Исполнители
<p>Спутниковая информация:</p> <ul style="list-style-type: none"> - концентрация хлорофилла-а; - мутность воды, - спектральные оптические характеристики излучения; - температура; - скорости поверхностных течений. <p>Дистанционные измерения с помощью мобильных средств:</p> <ul style="list-style-type: none"> - флуориметрические оценки концентрации хлорофилла-а и растворенного органического вещества (РОВ); - спектральные характеристики воды, рассчитанные с помощью спектрофотометров, спектрофлуориметров и спектрорадиометров. <p>Отбор проб</p> <ul style="list-style-type: none"> - отбор проб водорослей; - отбор рыбы, моллюсков и ракообразных. <p>Наблюдение за химическими параметрами среды.</p>	<p>Лица, занимающиеся отбором проб, представители власти, консультанты.</p>

Анализ данных	
<p>Анализ спутниковой информации:</p> <ul style="list-style-type: none"> - выявление признаков цветения и оценка районов с потенциально возможным ВЦВ; <p>Анализ мобильных измерений:</p> <ul style="list-style-type: none"> - оценка концентраций биопараметров фитопланктона; - расчет концентраций хлорофилла-а, РОВ, неорганических взвесей; - распознавание вредоносных видов водорослей, наиболее типичных и опасных для заданного района. <p>Анализ проб:</p> <ul style="list-style-type: none"> - определение вредоносных водорослей; - определение численности вредоносных водорослей; - измерение токсичности. 	Лица, занимающиеся отбором проб, представители власти, консультанты.
Оценка результатов	Представители власти
<p>Пользователи результатов мониторинга</p> <p>Рыбное хозяйство;</p> <p>Сельское хозяйство;</p> <p>Промышленность;</p> <p>Население.</p>	<p>Рыбное хозяйство,</p> <p>Сельское хозяйство,</p> <p>Промышленность,</p> <p>Властные структуры,</p> <p>Население</p>

По своим возможностям спутниковый мониторинг моря - один из наиболее перспективных инструментов контроля ВЦВ. Поскольку спутниковые данные ограничены фиксированным набором спектральных каналов и подвержены атмосферным искажениям, существенно влияющим на погрешность измерений, то решить проблему контроля ВЦВ только

спутниковыми технологиями на сегодняшний день весьма проблематично. Для ее решения должна быть организована сеть мониторинга ВЦВ, схематично представленная в таблице 1.1.1. Один из возможных элементов этой сети – мобильный судовой аппаратный комплекс (разрабатываемый в рамках данного контракта), позволяющий получать дополнительную информацию, как об оптических характеристиках атмосферы для устранения атмосферных искажений спутниковых данных, так и о спектральных характеристиках воды, рассчитанных по данным бортовых спектрофотометров, спектрофлуориметров и спектрорадиометров для настройки спутниковых алгоритмов.

В 3-х морских и одной сухопутной экспедиции, организованной на первом этапе, собран большой экспериментальный материал об оптических характеристиках атмосферы, гидрологических и биооптических характеристиках океана, которые в дальнейшем использовались для анализа погрешностей данных спутникового зондирования и развития алгоритмической базы спутникового и оптического зондирований.

Одна из морских экспедиций в заливе «Петра Великого» была посвящена отработке методики проведения подспутниковых судовых измерений концентрации хлорофилла «а» пассивными и активными оптическими методами.

Выполнены лабораторные работы по исследованию оптических характеристик морской воды, отобранной в морских экспедициях, методами оптической фотометрии и лазерной флуориметрии при многоспектральном возбуждении флуоресценции.

С целью повышения информативности спутникового зондирования осуществлена настройка программного обеспечения комплекса спутникового мониторинга и оценена точность восстановления профилей температуры и влажности атмосферы с помощью европейских пакетов программ AAPP, RTTOV и MetOffice-1Dvar для дальневосточного региона.

1.2 Этап №2

Краткая характеристика работ

В результате проведенных работ второго этапа осуществлена закупка, настройка и ввод в эксплуатацию аппаратуры для 4-х антенного комплекса спутникового мониторинга. Проведен котировочный конкурс и заключен контракт на изготовление солнечного фотометра. Продолжено накопление экспериментальных данных в области зондирования атмосферы и океана. Изготовлен рабочий макет измерителя фотосинтетической активности клеток фитопланктона. Введены в эксплуатацию два измерительных канала лидарного зондирования. Разработан и изготовлен макет видеосистемы регистрации и картирования загрязнений морской поверхности органическими пленками. Разработан спутниковый региональный биооптический алгоритм восстановления концентрации хлорофилла «а» в морской воде с использованием региональных регрессионных соотношений между параметрами среды. Созданы средства автоматического расчета биопараметров моря по данным радиометра MODIS на основе программного комплекса SeaDAS.

Результаты работ

1. Результаты натурных испытаний разработанных в рамках проекта макетов видеосистем регистрации органических пленок на морской поверхности показали, что видеосистема панорамной съемки в поляризованном излучении может быть успешно использована в качестве одного из уровней в многоуровневой системе экологического мониторинга портовых акваторий. Разработана концепция двухуровневой системы оперативного контроля загрязнений портовых акваторий на основе сети систем видеонаблюдения и мобильного флуоресцентного лидара.
2. В рамках проведения научно-исследовательских работ по выполнению мероприятий ФЦП выполнен комплексный мониторинг вредоносного цветения водорослей и токсичных видов в его составе на

мониторинговой станции ИБМ ДВО РАН в Амурском заливе Японского моря. Впервые обобщены результаты многолетних исследований флоры микроводорослей, проведенных в Амурском заливе Японского моря. Обнаружено 357 видов и внутривидовых таксонов микроводорослей. Показано, что по сравнению с данными конца 60-х и начала 70-х годов прошлого века значительно увеличилось видовое богатство фитопланктона, дополнены списки видов, вызывающих «цветение» воды.

3. В результате экспедиционных работ в заливе Петра Великого обнаружены 7 потенциально токсичных видов рода *Pseudo-nitzschia*. Наибольшая токсичность отмечена для культуры диатомовой водоросли *Pseudo-nitzschia pungens*, обнаруженной в б. Золотой Рог. Присутствие амнезиотоксина в диатомовых водорослях указывает на необходимость проведения регулярного мониторинга содержания домоевой кислоты в морских гидробионтах из залива Петра Великого и разработки методов дистанционного мониторинга распространения вредоносных водорослей.
4. С целью разработки средств оптического мониторинга вредоносного цветения водорослей проведены исследования оптических характеристик типичных для Дальневосточных морей и потенциально опасных водорослей. Проведенное накопление данных в этой области позволит использовать базу данных спектральных плотностей коэффициентов поглощения и рассеяния в биооптических алгоритмах определения видового состава фитопланктона.
5. В рамках разработки регионального биооптического алгоритма выполнен анализ погрешностей трех наиболее перспективных, с точки зрения распознавания видового состава водорослей, глобальных биооптических алгоритмов. Результаты сравнительного анализа показали, что при малых значениях альбедо облачности алгоритм Кардера наиболее устойчив к погрешностям атмосферной коррекции и не уступает в точности восстановления спектральных коэффициентов экстинкции морской толщи двум другим алгоритмам – квазианалитическому и GSM01.

Показано, что неточность атмосферной коррекции значительно искажает рассчитываемые спектральные характеристики у всех трех алгоритмов, как в сине-фиолетовой части спектра, так и в красной. Искажения носят систематический характер. Рассчитываемые коэффициенты поглощения существенно зависят от величины облачного альбедо, когда последняя превышает уже величину 0.8%. Получены количественные оценки систематических искажений.

6. Разработана и реализована система автоматического спутникового мониторинга экологического состояния прибрежных акваторий, позволяющая пользователю в интерактивном режиме по сети Интернет получать информацию о температурных полях верхнего слоя океана, распределении хлорофилла-а и других востребованных продуктов тематической обработки по каждому принятому изображению и для каждого региона интереса (Японское море, Охотское море и т.д.).
7. Методами многочастотного лазерного зондирования и солнечной фотометрии получены результаты пространственно-временной изменчивости оптических и микрофизических параметров атмосферного аэрозоля в различные сезоны года. Установлено, что в период интенсивных песчаных бурь в переходной зоне наблюдается сильная вертикальная зависимость функции распределения частиц по размерам, которая выражается в относительном увеличении размеров частиц крупнодисперсной моды в подтропопаузном аэрозольном слое.

1.3 Этап №3

Краткая характеристика работ

На третьем этапе выполнения проекта продолжено накопление экспериментальных данных в предметной области НИР. Исследовано пространственное распределение полей хлорофилла «а» в морской воде и фотосинтетической активности клеток фитопланктона объединенными методами спутникового зондирования, судовых флуориметрических и оптических пассивных измерений коэффициента яркости моря. Выполнена верификация спутниковых измерений, осуществлена оценка устойчивости регионального спутникового алгоритма. Разработана методика построения всепогодных композиционных изображений ТПО по данным различных спутников: создан алгоритм расчета ТПО по данным геостационарного спутника MTSAT-1R, удовлетворяющего стандартам точности. Закуплена аппаратура – солнечный фотометр SP-9. Выполнены работы по обеспечению единства и достоверности измерений путем объединения и взаимной верификации результатов дистанционного оптического, спутникового зондирования и измерений *in situ*.

Результаты

1. Результаты исследования пространственной и временной изменчивости атмосферной оптической толщи методами лидарного и пассивного зондирования убедительно показывают, что весенняя атмосфера переходной зоны материк-океан юга Приморского края отличается примерно двукратным превышением аэрозольного замутнения в сравнении с другими (морскими и континентальными) районами умеренных широт. Высокие значения аэрозольной оптической толщи (АОТ) обусловлены выносами континентального аэрозоля из аридных районов Китая и Монголии. Доминирующая роль в трансграничном переносе азиатского аэрозоля принадлежит системе зональных ветров, формируемой субтропическим струйным течением в области северной тропопаузы и барическими системами Дальневосточного региона. В вертикальных профилях аэрозоль-

молекулярного рассеяния отчетливо прослеживаются две области повышенного светорассеяния, характеризующих высотное распределение аэрозоля: широкий подтропопаузный слой со статистическим максимумом на высоте 8 км и слой в области ППС (~2 км). Вариабельность подтропопаузного слоя в значительной степени отражает пылевую активность и перенос аэрозоля (с задержкой на ~3 суток) из аридных районах Китая и Монголии.

2. Селективность спектрального хода АОТ атмосферы (средний показатель $\alpha=0.94$) над Японским морем близка к континентальным значениям из-за большого содержания мелкодисперсного аэрозоля выносимого с континента в акватории Дальневосточных морей.
3. Результаты подспутниковых измерений спектральной плотности восходящего из морской толщи излучения с помощью гиперспектрального радиометра и концентрации хлорофилла «а» с помощью аппаратурных средств, разработанных в рамках данного проекта, показывают, что многообразие типов атмосферного аэрозоля в переходной зоне материк-океан является одним из основных источников серьезных погрешностей спутниковых алгоритмов восстановления концентрации хлорофилла «а» в морской воде. Сравнительный анализ точности работы различных алгоритмов атмосферной коррекции доступных в программном комплексе SeaDAS показал, что в диапазоне 412 – 555 нм наилучшим образом показала себя атмосферная коррекция MUMM. Зависимость ошибок расчета от параметров среды (в данном случае параметра альbedo облачности) позволяет надеяться на возможность создания алгоритма, распознающего условия для выбора оптимального алгоритма атмосферной коррекции.
4. Разработан и создан флуоресцентный лидар для мониторинга органических соединений в верхнем слое океана. Натурные испытания показали эффективность его использования для обнаружения и идентификации нефтяных загрязнений и измерения концентрации хлорофилла «а» на расстояниях до 150 м.

5. Проведена доработка сканирующей видеосистемы обнаружения нефтяных загрязнений морских акваторий по характеристикам снимков на морской поверхности.
6. В рамках работ по модернизации оборудования УСУ «ЛаМИ» введены в эксплуатацию дополнительные поляризационные каналы аэрозольного тропосферного лидара, позволяющие проводить селекцию пылевого аэрозоля.
7. Создана система построения композиционных карт ТПО по данным спутника MTSAT-1R. Проведена апробация созданной системы на месячной серии данных. Организован доступ к оперативным микроволновым измерениям ТПО. Созданы и апробированы средства восполнения спутниковых ИК-измерений ТПО микроволновыми измерениями ТПО.

II РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВИДОВОГО СОСТАВА ВОДОРΟΣЛЕЙ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА ВРЕДОНОСНОГО ЦВЕТЕНИЯ ВОДОРΟΣЛЕЙ.

2.1. Организация исследований по оценке экологического состояния морских акваторий средствами дистанционного зондирования

Контроль экологического состояния морских акваторий является одной из важных задач по обеспечению защиты окружающей среды. Те или иные примеси, попавшие в воду, меняют спектральные характеристики воды, что позволяет контролировать такие события различными приборами. В частности, измерения спектрорадиометрами характеристик излучения воды (в первую очередь коэффициентов поглощения и рассеяния) позволяют контролировать основные примеси, присутствующие в морской воде.

Оценка состояния фитопланктона моря спутниковыми дистанционными методами относится к одной из актуальных задач экологического контроля. Такие явления как массовое цветение микроводорослей (красные приливы) и цветение вредоносных водорослей (водорослей, выделяющих токсины, опасные для рыб, морских животных и человека) ежегодно наносят ущерб прибрежной хозяйственной зоне Дальневосточного региона, исчисляющийся сотнями миллионов долларов (по оценкам японских экспертов). Последняя проблема является одной из наиболее сложных и подразумевает комплексное решение нескольких задач:

- дистанционное зондирование атмосферы для оценки вертикального распределения коэффициентов ослабления и рассеяния солнечного излучения и решения задачи атмосферной коррекции;
- подспутниковые измерения излучения на поверхности моря для расчета коэффициентов отражения и верификация спутниковых соответствующих оценок;

- измерение биооптических характеристик в приповерхностном слое на основе флюориметрических методик;
- выращивание вредоносных водорослей и измерение их спектральных характеристик в лабораторных условиях;
- разработка автоматических средств спутникового мониторинга морских акваторий и распознавание вредоносного цветения по спектральным характеристикам.

Сложность задачи по оценке экологического состояния моря, и, в первую очередь, идентификации и мониторингу вредоносного цветения водорослей (ВЦВ) привели к необходимости объединения ресурсов и согласования планов проведения исследовательских работ в трех институтах ДВО РАН (Институте биологии моря, Институте автоматизации и процессов управления и Тихоокеанском океанологическом институте) на базе оборудования трех центров коллективного пользования (ЦКП Регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН, ЦКП Лазерных методов исследования конденсированных сред, биологических объектов и мониторинга окружающей среды и ЦКП Мониторинга вредоносного цветения водорослей и биотоксичности акваторий).

Спутниковые оценки биопараметров моря.

Одним из наиболее проблемных заливов Дальнего востока России с точки зрения экологической обстановки является залив Петра Великого. Для его автоматического регулярного мониторинга в режиме реального времени в Спутниковом центре ДВО РАН созданы средства автоматического приема, обработки и поставки различных параметров воды заинтересованным службам и потребителям со свободным доступом к данным (<ftp://ftp.satellite.dvo.ru/pub/modis>). Средства базируются на обработке информации радиометров MODIS пакетом программ SeaDAS, что позволяет

получать около двухсот параметров среды (воды и атмосферы над ней) таких как: коэффициенты диффузного ослабления, концентрация хлорофилла-а, коэффициенты поглощения и рассеивания в 17 спектральных каналах, спектральные характеристики фитопланктона и растворенного органического вещества (РОВ), флюоресценция фитопланктона, эффективность фотосинтеза, температура поверхности воды, параметры атмосферы и др.

Спутниковая информация позволяет находить наиболее интересные объекты исследований для оперативной наведения на них судовой экспедиции. Для этого используются карты температуры поверхности воды, концентрации хлорофилла-а (chl), высоты линии флюоресценции (flh), мутности (коэффициент диффузного ослабления K_{490}), эффективности фотосинтеза, параметров «однородности видового состава» водорослей, параметра характерного размера водорослей (Рисунок 2.1). В качестве параметра оценки эффективности фотосинтеза используется емкость фотосинтеза $F = flh / chl$ (величина, обратно пропорциональная эффективности фотосинтеза), позволяющее находить места, где концентрация фитопланктона будет нарастать. В качестве параметров «однородности видового состава» используется отношение коэффициента рассеяния назад $b_{bp}(\lambda)$ фитопланктоном к соответствующему коэффициенту поглощения $a_{ph}(\lambda)$ для выбранного спектрального канала с длиной волны λ . Отношение позволяет находить места резкой смены спектральных характеристик фитопланктона, обусловленные сменой видового состава, или значительными изменениями концентраций примесей различного характера. В качестве параметра характерного размера используется величина роста коэффициента рассеяния назад от роста частоты спектрального канала. Величина роста обратно пропорциональна характерному размеру частиц в воде. Совместный анализ получаемых параметров при тщательном контроле проведенной атмосферной коррекции позволяет целенаправленно искать интересные объекты и осуществлять проверку используемых биооптических алгоритмов.

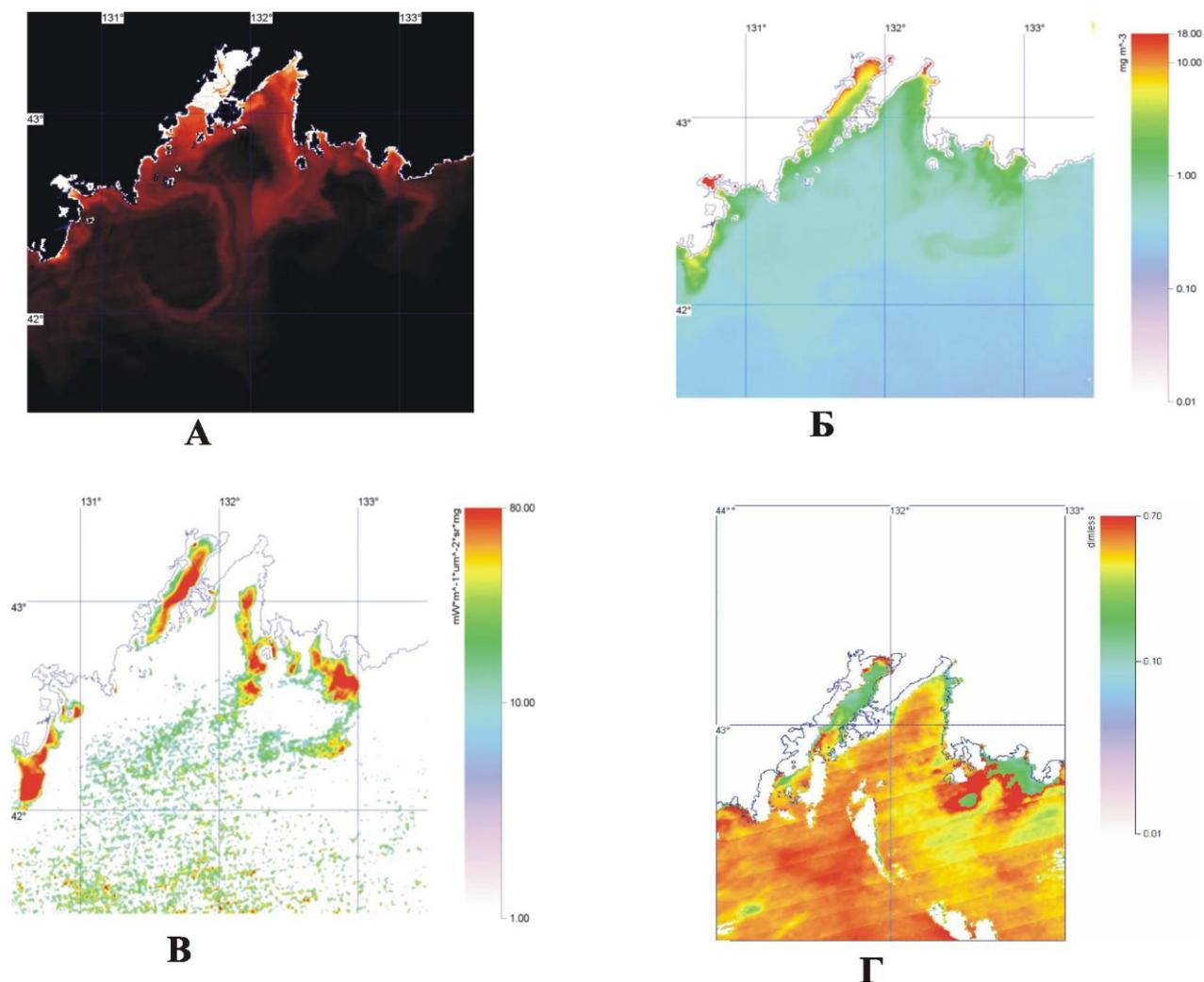


Рисунок 2.1. Карты биопараметров залива Петра Великого за 24.08.2009. А – коэффициент диффузного ослабления K_{490} . Б - концентрация хлорофилла-а (алгоритм ОС3). В - емкость фотосинтеза F. Г - параметр «однородности» видового состава для $\lambda=0.412$ мкм (алгоритм Кардера [1]).

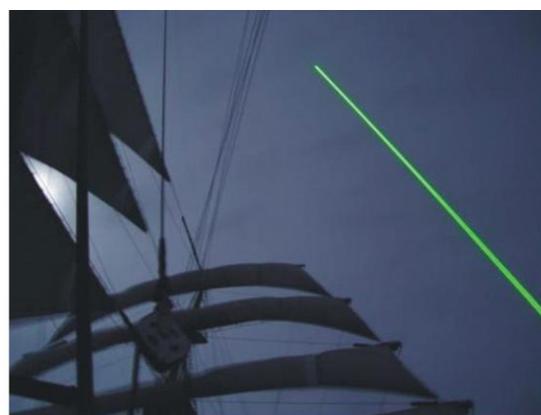
Дистанционное зондирование атмосферы

Основной проблемой алгоритмов атмосферной коррекции приходящего на спутниковый радиометр излучения является неточность модели поглощения и рассеяния излучения атмосферным аэрозолем. Наиболее эффективным средством восстановления параметров аэрозоля является дистанционное зондирование атмосферы стационарными и/или мобильными лидарами. При сложных атмосферных условиях эффективно сочетание спутниковых и мобильных лидаров.

Взаимодополняющие методики солнечной фотометрии и лазерного зондирования атмосферы позволяют не только оценить содержание аэрозольного вещества в атмосферном столбе, но и определить его вертикальное распределение (Рисунок 2.2а) и оценить коэффициенты ослабления излучения аэрозолями. Последующий анализ данных лидарного зондирования позволяет выявить интервалы высот переноса аэрозоля в атмосфере, а также определить его оптические и микрофизические свойства. На рисунке 2.2б приведен пример восстановления коэффициента экстинкции для 3-х длин волн зондирования (355, 532 и 1064 нм) за 30 апреля 2009 г. Многочастотное лидарное зондирование аэрозольных слоев дает возможность также оценить функцию распределения аэрозольных частиц по размерам (Рисунок 2.2в) и определить коэффициент англстрема, который задает спектральную зависимость коэффициента экстинкции в видимом спектральном диапазоне. Лидарные измерения обеспечивают получение ключевых параметров распределения аэрозоля в атмосфере, достаточных для проведения аккуратной атмосферной коррекции сигнала, приходящего на спутниковый радиометр. Использование спутниковых расчетов оптической толщины аэрозоля и аэрозольный коэффициент англстрема для оценки однородности атмосферных характеристик позволяет уверенно распространять аэрозольную модель атмосферы, рассчитанную лидарными средствами, на значительные области в окрестности измерений.



А



Б

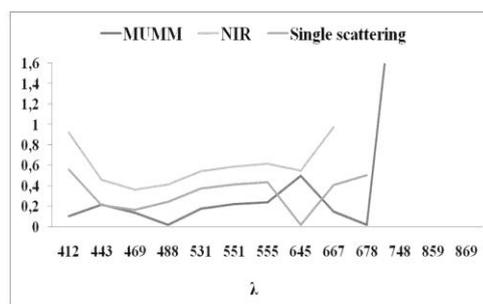
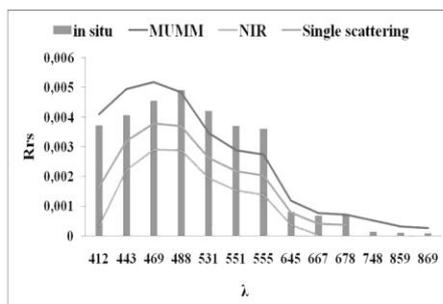
Рисунок 2.2. Лидарные оценки параметров атмосферного аэрозоля: А - аэрозоль-молекулярное отношение для длины волны 532 нм; Б - коэффициента ослабления лазерного излучения для трех длин волн; В - функция распределения частиц по размеру для различных слоев атмосферы.

Контроль оптических характеристик восходящего излучения.

Прямые измерения спектральных характеристик полевым гиперспектрорадиометром непосредственно над и под поверхностью воды позволяют контролировать корректность, как алгоритмов атмосферной коррекции, так и алгоритмов расчета различных характеристик фитопланктона. Разработка алгоритмов расчета характеристик фитопланктона на основе измерений спектрорадиометра имеет самостоятельную ценность, так как позволяет создать мобильное средство диагностики качества воды и, в частности, для распознавания вредоносных водорослей с мобильных платформ. Измерения дают возможность проводить расчеты ключевых параметров, на основе которых работает большинство биооптических алгоритмов - коэффициентов отражения моря в различных спектральных диапазонах:

$$Rrs(\lambda) = \frac{Lw(\lambda)}{Es(\lambda)},$$

где $Lw(\lambda)$ - спектр яркости восходящего излучения моря, $Es(\lambda)$ - спектр освещенности морской поверхности. Их нормализация (приведение к единым условиям наблюдения) позволяет проводить сравнение со спутниковыми оценками (Рисунок 2.3).



А

Б

В

Рисунок 2.3. Полевой спектрорадиометр ASD (А); прямые измерения коэффициентов отражения в 13 спектральных каналах для одного пикселя изображения MODIS (голубые колонки) и их спутниковые оценки для трех различных моделей атмосферной коррекции, применяющихся в пакете SeaDAS (Б); относительная погрешность (отношение) соответствующих спутниковых оценок при сравнении с in situ измерениями.

Измерения биопараметров в приповерхностном слое моря.

Для верификации различных биооптических алгоритмов необходимы детальные измерения характеристик фитопланктона в приповерхностном слое моря. Помимо традиционных измерений концентраций основных компонент примесей (фитопланктона, растворенного органического вещества и неорганической взвеси), необходим пигментный анализ фитопланктона, анализ видового состава и быстрое и эффективное измерение распределения компонент примесей в пространстве. Для получения характеристик пространственного распределения биопараметров воды проводятся флюориметрические измерения проточным флюориметром и зондом. Последний (Рисунок 2.4а) позволяет измерять температуру, соленость, давление, концентрацию растворенного органического вещества, концентрацию хлорофилла-а и величину фотосинтетически-активной радиации в морской воде. Измерения зонда дают возможность строить весовую функцию для осреднения биопараметров в слое в соответствии с неоднородностью их

вертикального распределения с целью сравнения спутниковых и *in situ* измерений, а также строить горизонтальные разрезы измеряемых величин (Рисунок 2.4б,в).

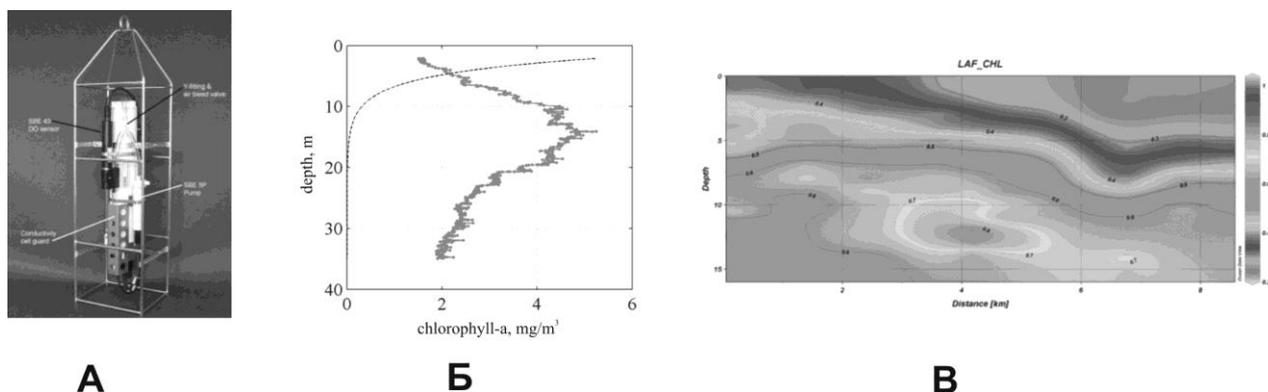


Рисунок 2.4. А - погружаемый зонд SBE-19-plus. Б - профиль концентрации хлорофилла-а (зеленая линия) и весовая функция учета неоднородности его распределения (пунктирная линия). В - глубинный разрез концентрации хлорофилла-а (август, 2008г.).

Разработка регионального алгоритма расчета концентрации хлорофилла-

а

Представленный комплекс средств и методик позволяет создавать эффективные региональные алгоритмы расчета биопараметров для прибрежных вод. Для залива Петра Великого, отдельные участки акватории которого относятся как к водам открытого моря (case I), так и прибрежным (case II), в том числе подверженным антропогенному влиянию города Владивостока, показана возможность создания регионального алгоритма расчета концентрации хлорофилла-а, единого для всей акватории [2]. Анализ работы различных алгоритмов пакета SeaDAS (Рисунок 2.5) показал, что алгоритм Кардера для расчета концентрации хлорофилла-а, растворенной органики и коэффициентов поглощения и рассеяния фитопланктона [1] дают наиболее приемлемые результаты при сравнении данных прямых измерений концентрациями хлорофилла со спутниковыми измерениями. Значительная

дисперсия рассогласований концентраций хлорофилла-а вблизи городского побережья (красные точки) обусловленная, по-видимому, влиянием городских стоков, корректируется, если ввести зависимость концентрации хлорофилла-а от величины его флюоресценции (параметр flh). Предложен алгоритм для распознавания таких вод.

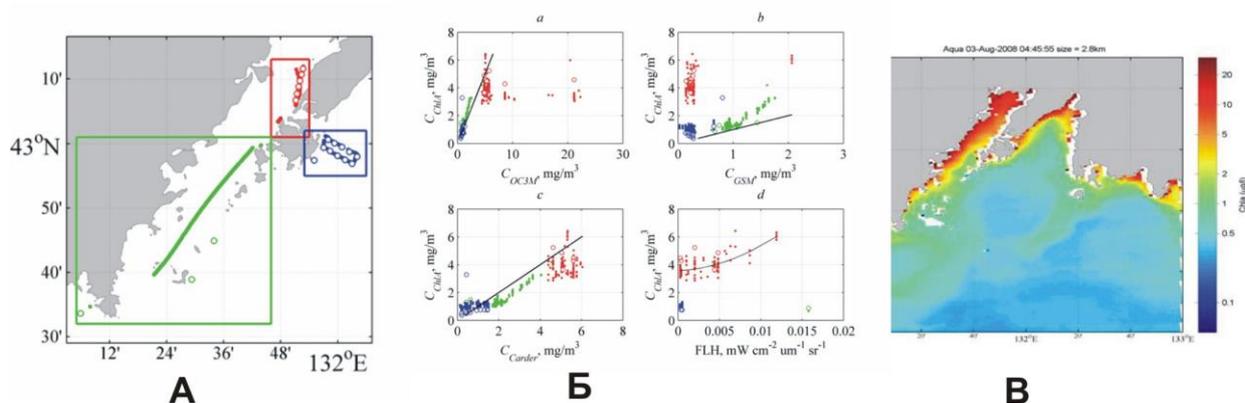


Рисунок 2.5. Маршрут съемки 2008 года в заливе Петра Великого (А). Сравнение спутниковых и in situ измерений концентрации хлорофилла-а: a,b,c – алгоритмы OC3, GSM и Кардера (пакет программ SeaDAS); d – использование флюоресценции (flh) для расчета регрессионной зависимости для вод case II (Б). Пересчитанная на основе полученных зависимостей спутниковая карта концентрации хлорофилла-а (В).

Оптические свойства видов фитопланктона

Разработка алгоритмов идентификации вредоносного цветения водорослей подразумевает наличие процедур идентификации их видов. Комплексные экспедиционные работы позволяют накапливать материал для создания алгоритмов распознавания видов водорослей. Однако, «пёстрость» видового состава в пробах, взятых в естественных условиях, не гарантирует быстрого получения спектральных характеристик конкретных видов, особенно вредоносных. Их выращивание в лабораторных условиях является необходимым элементом создания технологии распознавания вредоносного

цветения водорослей дистанционными методами. Выращивание наиболее опасных видов вредоносных водорослей, встречающихся в морях Дальнего востока России, таких как *Pseudo-nitzschia pungens* и *Alexandrium tamarense*, позволяет определять ключевые спектральные характеристики вида и продуцируемого им растворенного органического вещества – коэффициенты ослабления, рассеяния назад и поглощения. Измерение этих характеристик на разных стадиях жизни водоросли (морфология клетки может значительно меняться в процессе жизненного цикла) позволяет накопить нужные данные для создания процедуры идентификации (Рисунок 2.6).

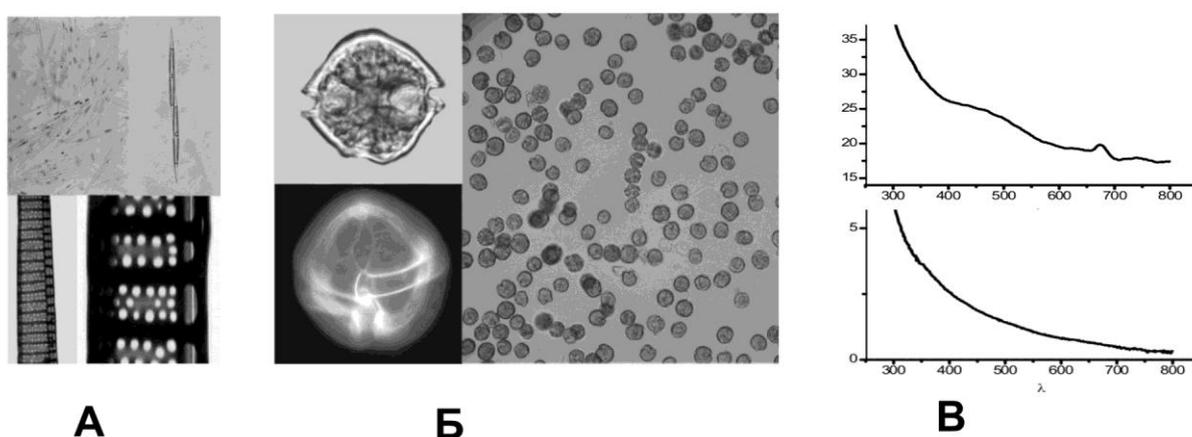


Рисунок 2.6. Вредоносные виды водорослей: (А) *Pseudo-nitzschia pungens* (приведены фотографии клеток, сделанные с помощью светового и трансмиссионного электронного микроскопов) и (Б) *Alexandrium tamarense* (приведены фотографии клеток, сделанные с помощью светового и люминесцентного микроскопов), а также (В) пример спектральных характеристик - коэффициенты ослабления водоросли *Alexandrium tamarense* и ее РОВ.

Построение процедуры идентификации видов цветущих водорослей

Для решения задачи идентификации вида цветущей водоросли можно использовать оптическую модель прохождения излучения в приповерхностном

слое (алгоритм Кардера), согласно которой коэффициент отражения моря можно с хорошей точностью аппроксимировать следующей зависимостью:

$$R_{rs}(\lambda) = \frac{f * t^2}{Q(\lambda) * n^2} \frac{b_b(\lambda)}{a(\lambda) + b_b(\lambda)},$$

где λ – длина волны, $a(\lambda)$ – коэффициент поглощения морской воды в приповерхностном слое, $b_b(\lambda)$ – коэффициент рассеивания назад. Остальные параметры аппроксимируются известными зависимостями:

$$f / Q(\lambda) = 0.02085 + 0.00028796 * \lambda + 0.000000289 * \lambda^2,$$

$$t^2 / n^2 \approx 0.54.$$

Знание спектральных характеристик вредоносных водорослей позволяет рассчитать коэффициент отражения морской воды для любой длины волны при заданной концентрации водоросли и ее РОВ, что можно положить в основу алгоритма распознавания ВЦВ по спутниковой информации, или измерениям полевого спектрорадиометра. Не смотря на значительное разнообразие видов микроводорослей, задача упрощается из-за того, что при массовом цветении доминирует только несколько видов.

Распознавание видов фитопланктона по спутниковой информации

- Для апробации подхода был проведен натурный эксперимент [3]. Использовались измерения видового состава в заливе Петра Великого за 2006 год. Наблюдалось цветение водорослей, и в пробах по биомассе доминировали 2 диатомовых водоросли - *Coscinodiscus oculus-iridis* и *Ditylum brightwellii*. Их доля составляла 70–95% от биомассы всего фитопланктона. Была поставлена задача расчета спектральных характеристик микроводорослей в следующей форме. Для каждого спутникового измерения изменчивость излучения R канала k относительно излучения чистой воды можно записать в форме:

$$R_k - W_k = \sum C_i \cdot R_{i,k},$$

где W_k - излучение чистой морской воды в канале k ; C_i - концентрация биомассы микроводоросли i ; $R_{i,k}$ - спектральный параметр единицы биомассы микроводоросли i совместно с ее РОВ в канале k . Концентрация водорослей бралась из проб видového состава, которые соответствовали пикселям спутникового изображения.

В качестве характеристик микроводорослей $R_{i,k}$ использовались нормализованные восходящие излучения в 13-ти спектральных каналах радиометра MODIS. При проведении расчетов предполагалось, что остатку биомассы, не приходящемуся на доминирующие виды, соответствует некоторая "универсальная" микроводоросль с едиными спектральными характеристиками для всей акватории. Решение задачи показало устойчивость получения спектральных характеристик $R_{i,k}$ конкретной водоросли. Характеристики водорослей не менялись существенно при использовании в задаче различных выборок из набора измерений и давали хорошую точность аппроксимации спутниковых измерений R_k по используемой модели.

2.2. Фитопланктон залива Петра Великого и задача его дистанционного зондирования

Апробированная методика расчета биопараметров воды с возможностью распознавания видového состава фитопланктона не гарантирует решения задачи для конкретного региона. Существует более 4000 видов микроводорослей, спектральные характеристики почти всех из них неизвестны. В литературе отмечаются различия видов в зависимости от региона, а также наблюдаются различия между видами, выращенными в культуре и взятыми в пробах воды. Даже если спектральные характеристики всех видов будут известны, вероятность правильного решения задачи (при наличии минимум 4000 неизвестных параметров – концентраций водорослей) близка к нулю. Поэтому встает вопрос о возможности решения задачи для конкретного региона с привлечением особенностей видového состава микроводорослей. Для этого был

выбран один из наиболее проблемных с экологической точки зрения заливов Дальнего Востока России – залив Петра Великого (Японское море).

Среди биотических компонентов прибрежных экосистем фитопланктон – один из наиболее чувствительных элементов, реагирующих на изменения природной среды. Климатические изменения и загрязнение прибрежных вод приводят к тому, что явление «красных приливов» (феномен массового развития микроводорослей) приобретает характер эпидемий, в том числе и в дальневосточных морях РФ. Вредоносное цветение водорослей (ВЦВ) представляет опасность для жизни и здоровья людей, снижает продуктивность марикультурных хозяйств, наносит ущерб туризму и рекреационным системам, снижает биоразнообразие и разрушает морские экосистемы. Наличие вредоносных водорослей в заливе Петра Великого [11, 12, 14, 29] и массовое цветение некоторых из них может привести к накоплению критических концентраций токсинов в выращиваемых моллюсках. В водах залива обнаружено 13 видов микроводорослей, известных как потенциальные продуценты различных типов фикотоксинов [23]. Так диатомовые водоросли рода *Pseudo-nitzschia* известны как продуценты нейротоксичной домоевой кислоты, и с их массовым развитием связывают случаи пищевого отравления моллюсками-фильтраторами, накапливающими токсины [19]. Виды рода *Pseudo-nitzschia* широко распространены в заливе Петра Великого, а их массовое развитие, достигающее силы «цветения», наблюдается в его прибрежных водах в летне-осенний период [14, 28]. В настоящее время доказана высокая токсичность некоторых клонов рода *Pseudo-nitzschia*, найденных в водах залива [29]. Динофлагелляты родов *Dinophysis*, *Prorocentrum* и *Gonyaulax* способны продуцировать токсины, которые вызывают диарретическое отравление [27]. Эта группа микроводорослей широко распространена в летние месяцы в периоды наибольшего прогрева и выраженной стратификации водной толщи. Плотность продуцентов фикотоксинов в водах залива Петра Великого может превышать предельно допустимую концентрацию, при которой в странах Европы вводится запрет на

добычу моллюсков [16, 23, 26]. Развитие в последние годы хозяйств по выращиванию марикультуры на Дальнем Востоке России, и в первую очередь в заливе Петра Великого, предполагает организацию регулярного мониторинга акваторий для выявления ВЦВ.

Спутниковый мониторинг моря - один из наиболее перспективных инструментов контроля ВЦВ. Такие индикаторы цветения водорослей, рассчитываемые по данным оптических измерений, как концентрация хлорофилла-а, мутность, флюоресценция, коэффициенты отражения в разных спектральных диапазонах позволяют обнаруживать массовое цветение водорослей, но не являются надежными идентификаторами ВЦВ, так как не всякое цветение является вредоносным. Поэтому ключевой задачей такого мониторинга является определение видов доминирующих водорослей в заданном регионе моря и их биомассы.

Большое разнообразие морских микроводорослей (более 5000 видов), близость оптических свойств некоторых видов и наличие шумов различной природы в измерениях цветности делают решение задачи определения видового состава в «общей» постановке маловероятным. Поэтому такую задачу решают на основе широкого использования региональных особенностей района мониторинга, и в первую очередь, знания о видовом составе водорослей, времени, интенсивности и особенностей цветения водорослей. Существует значительное количество примеров успешного решения такой задачи [18, 30, 31]. Так, например, для мониторинга вредоносного цветения водоросли *Pseudo-nitzschia* в проливе Санта Барбара (США) [17] помимо спутниковых оценок оптических параметров воды используются знания о сезоне цветения, связи этого явления с температурой воды, соленостью, концентрацией хлорофилла-а, химическими параметрами среды и наличием апвеллинговых явлений. В то же время эта же водоросль может достигать критических концентраций, когда ее биомасса существенно меньше цветущей вместе с ней водоросли, как это может происходить в восточной части Адриатического моря [20]. Поэтому подходы, основанные на обнаружении ВЦВ, когда вредоносная водоросль

доминирует по биомассе [21, 31] в таких случаях будут не эффективны. Однако, при цветении группы водорослей решение задачи определения процентного состава цветущих водорослей возможно на основе имеющейся априорной информации о наиболее вероятных претендентах на цветение [4].

К настоящему времени на акватории залива Петра Великого были выполнены обширные флористические исследования микроводорослей [7, 8, 24], приведены среднемесячные характеристики численности каждого вида с сопутствующими географическими и экологическими параметрами [9], однако для уверенного распознавания видов водорослей дистанционными средствами необходима дополнительная информация. В первую очередь необходимо знать статистические характеристики распределения биомассы водорослей, так как они обуславливают величины оптических параметров морской воды. Также важно знать параметры процентного состава биомассы водорослей в пробах воды и доминирующие по биомассе виды.

Выяснение региональных особенностей распределения биомассы и характеристик видового состава фитопланктона в разных районах залива Петра Великого Японского моря было основной целью проделанной работы. Рассматривались следующие вопросы:

- степень однородности видового состава;
- способность различных водорослей к достижению значительной доли биомассы в пробах;
- пространственно-временная изменчивость фитопланктона;
- характерные размеры клеток в пробах.

Материал и методы

В работе использовали данные видового состава фитопланктона, температуры и солености воды, полученные по результатам сборов, выполненных в заливе Петра Великого в период с 1996 г. по 2009 г. Проанализированы три набора проб, взятых в приповерхностном слое воды

(первый метр). Первый набор объединяет сборы фитопланктона, проведенные в Амурском заливе на прилегающей к г. Владивостоку акватории на мониторинговой станции Института биологии моря имени А.В. Жирмунского ДВО РАН (далее - станция ИБМ). Это были наиболее представительные сборы, выполненные в период с 1996 г. по 2009 г. (более 200 проб), по которым строились основные закономерности распределения видового состава и оценивалась его временная изменчивость. Второй набор проб объединял сборы фитопланктона, проведенные на акватории залива Восток в районе Морской биологической станции ИБМ ДВО РАН «Восток» (далее станция Восток) в период с 2001 по 2007 г. (43 пробы). Пробы этой группы анализировали для проверки универсальности закономерностей, полученных для станции ИБМ. Третий набор объединяет пробы из открытых частей Амурского и Уссурийского заливов, где пробы фитопланктона собирали в период 1998-2009 гг. Результаты обработки 106 проб были использованы для оценки применимости тех же закономерностей в разных частях залива Петра Великого. На рисунке 2.2.1 приведена карта расположения точек отбора проб.

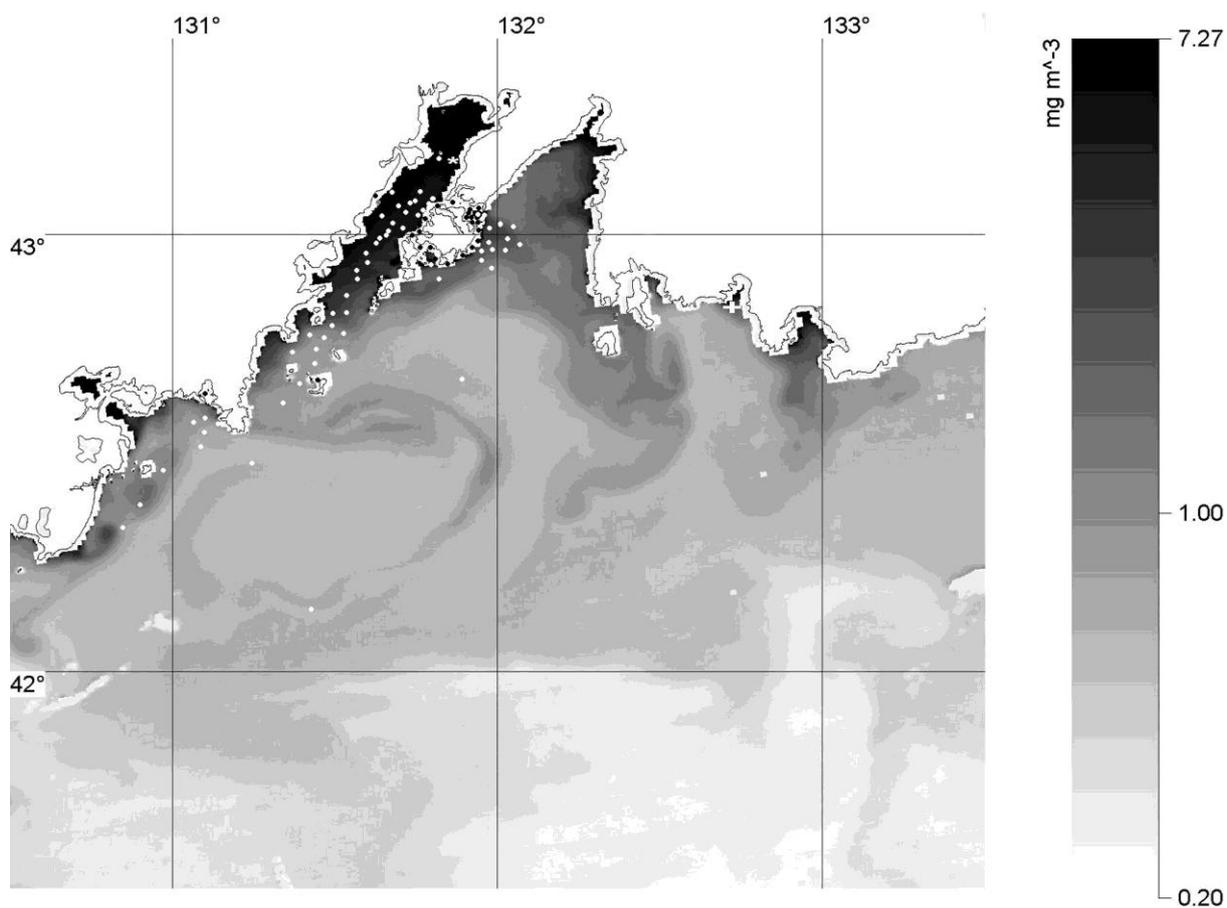


Рисунок 2.2.1 Типичная карта распределения концентрации хлорофилла-а (за 31.08.2009, алгоритм ОСЗ) и расположения отбора проб в заливе Петра Великого. Здесь * - станция ИБМ, + - станция Восток, • – измерения третьего набора.

Пробы фитопланктона для количественного анализа отбирали 2-х литровым батометром Молчанова. Один литр пробы концентрировали осадочным методом или обратной фильтрацией [15] и фиксировали раствором Утермея. Количественный учет ультра- и наннопланктона проводили в камере типа Нажотта объемом 0,05 мл, учет плотности микропланктона – в камере объемом 1 мл. Биомассу определяли объемным методом, используя литературные данные вычислений объема клеток отдельных видов [7, 10], а также результаты собственных измерений. “Цветение” водорослей рассматривали как их массовое развитие, при котором плотность клеток превышала 10^6 кл/л [22]. Всего было идентифицировано 315 видов из 116 родов.

Видовую идентификацию и измерение клеток проводили с помощью светового микроскопа (СМ) Olympus BX 41 (Токио, Япония). Тонкую структуру панциря изучали в трансмиссионном (ТЭМ) электронном микроскопе. Очистку панцирей при подготовке препаратов для электронной микроскопии проводили по стандартной методике [24] для ТЭМ: каплю отмытой пробы наносили на бленды, покрытые формваром, высушивали на воздухе и исследовали с помощью микроскопа JEOL JEM-100 S (Токио, Япония).

Оценку качества воды проводили в соответствии с классификацией японских авторов [32, 33], позволяющей на основе кратковременных исследований фитопланктона определять трофность вод залива Петра Великого [13]. Согласно принятой классификации, уровень трофности воды оценивали, используя список видов-индикаторов и следующую шкалу общей плотности фитопланктона:

олиготрофный район - $< 3 \cdot 10^4$ кл. \cdot л $^{-1}$;

евтрофный район - $3 \cdot 10^4$ - $3 \cdot 10^6$ кл. \cdot л $^{-1}$;

экстремально-евтрофный район - $> 3 \cdot 10^6$ кл. \cdot л $^{-1}$.

На основании структурных и количественных характеристик фитопланктона на всей исследованной акватории можно выделить два района, различающихся по степени трофности вод. Первый район объединяет прилегающие к г. Владивосток акватории в Амурском заливе (район станции ИБМ), где отмечены высокая общая плотность фитопланктона (свыше 3 млн. кл/л) и высокая плотность диатомовой водоросли *Skeletonema costatum* (свыше 8 млн. кл/л), что указывает на гиперевтрофный тип вод. Второй район включает кутовую часть залива Восток (второй набор проб) и открытые воды Амурского и Уссурийского заливов (третий набор проб). Относительно невысокий уровень количественного развития фитопланктона и состав доминирующих видов позволил отнести воды залива Восток и открытые воды Амурского и Уссурийского заливов к мезотрофному типу.

Задача дистанционного зондирования

Для решения задачи идентификации по спутниковой информации вида фитопланктона можно использовать оптическую модель прохождения излучения в приповерхностном слое [25]. Согласно модели коэффициент отражения моря, измеряющийся по спутниковым данным в видимом диапазоне спектра, можно с хорошей точностью аппроксимировать следующей зависимостью:

$$Rrs(\lambda) = f(\lambda) \frac{b_b(\lambda)}{a(\lambda) + b_b(\lambda)},$$

где $f(\lambda)$ – некоторая известная функция от длины волны λ , $a(\lambda)$ – коэффициент поглощения света компонентами морской воды в приповерхностном слое, $b_b(\lambda)$ – коэффициент рассеивания назад.

При этом:

$$a(\lambda) = a_0(\lambda) + \sum C_i a_i^*(\lambda) \quad (2.2.1)$$

$$b_b(\lambda) = b_{b0}(\lambda) + \sum C_i b_{bi}^*(\lambda) \quad (2.2.2)$$

где C_i – концентрация биомассы водоросли i в воде, $a_i^*(\lambda)$ и $b_{bi}^*(\lambda)$ – спектральные параметры единицы биомассы водоросли i , $a_0(\lambda)$ и $b_{b0}(\lambda)$ – параметры других компонент воды. В два ключевых параметра $a(\lambda)$ и $b_b(\lambda)$, определяющих изменчивость величины $Rrs(\lambda)$, коэффициенты поглощения и рассеяния назад конкретных водорослей входят аддитивно и обычно составляют наибольшую их часть.

Знание спектральных характеристик микроводорослей позволяет оценивать коэффициент отражения морской воды для любой длины волны при заданной концентрации водоросли и ее растворенного органического вещества (РОВ), что можно положить в основу алгоритма распознавания ВЦВ по спутниковой информации, или измерениям полевого спектро радиометра. Для надежного решения задачи необходимы долговременные наблюдения за видовым составом фитопланктона в разные сезоны и в различных местах исследуемого региона. Это позволит выявить доминирующие виды

фитопланктона, сезоны и условия их цветения, что резко повышает правильность интерпретации дистанционных измерений.

Микроводоросли одного рода обычно близки по своим спектральным характеристикам, поэтому вероятность внутривидовой идентификации дистанционными методами мала. Для целей дистанционного определения в качестве таксономической распознаваемой единицы следует использовать род. Использование для сравнения надвидовых таксонов вряд ли будет способствовать решению задачи, так как водоросли, принадлежащие разным семействам или порядкам (в частности, диатомовые водоросли), имеют существенно различные оптические характеристики [4]. Основной целью данного исследования было получение статистических характеристик распределения биомассы в пробах, приходящейся на один род. Здесь и далее анализировалось два параметра – биомасса рода и процент биомассы рода в пробе. Оценивалось сезонное распределение биомассы и рассматривались вопросы изменчивости процентного состава лидирующих по биомассе водорослей в пробах.

Характеристики распределения биомассы водорослей

Изменчивость средних значений биомассы по месяцам всех трех наборов данных представлена на Рисунок 2.2.2. Следует отметить высокие значения средней биомассы в зимние и летние месяцы на станции ИБМ и очень низкие значения биомассы весной (Рисунок 2.2.2а). При сравнении распределения биомассы разных наборов проб следует учесть, что наборы принадлежат водам разной трофности, что определяет абсолютные величины биомассы. Анализ относительной изменчивости биомассы по месяцам показывает, что фрагментарные данные станции Восток (Рисунок 2.2.2б) и измерения по заливу (Рисунок 2.2.2в) не противоречат тенденциям распределения биомассы на станции ИБМ.

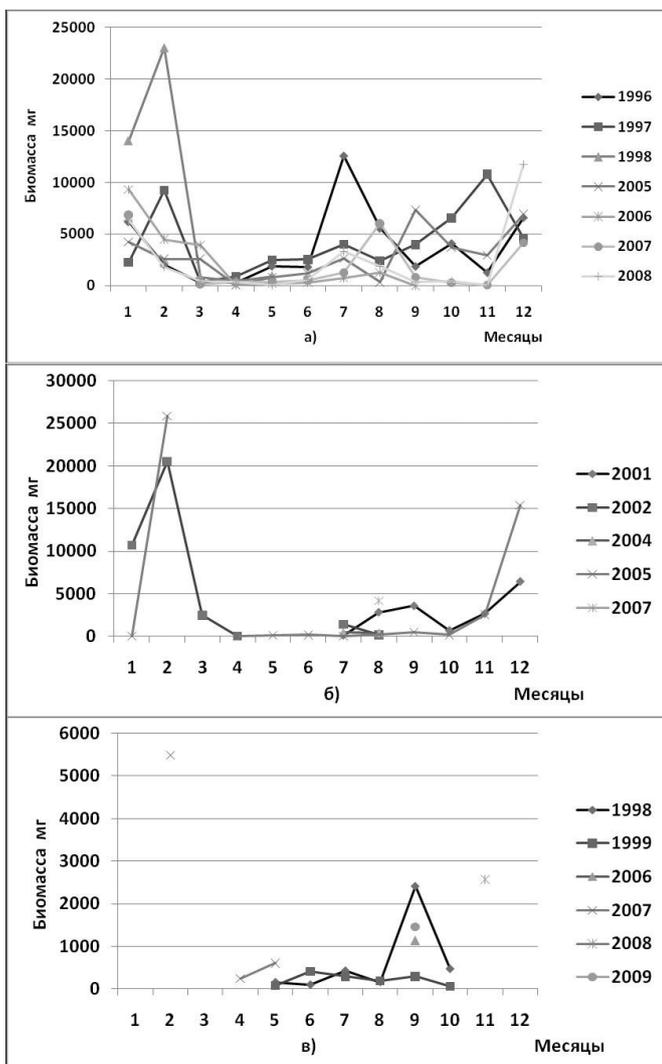


Рисунок 2.2.2. Распределение биомассы водорослей по месяцам и годам: наборы данных 1 - (а), 2 - (б) и 3 - (в).

Для станции ИБМ на рисунке 2.2.3 приведены оценки средней биомассы в пробах за каждый месяц, а также медианы и процентилю распределения (биомасса, приходящаяся на пробы, отстоящие от медианы на 25% длины упорядоченной выборки). Несимметричность процентилю и существенные расхождения медианной и средней оценок говорит о несимметричности закона распределения биомассы и сложности получения аккуратных оценок ключевых статистических параметров (среднего, дисперсии), обусловленной небольшими объемами выборок. В этом плане медианная оценка – наиболее устойчивая оценка характерной биомассы за месяц. Согласно последней наибольшая биомасса приходится на зимние месяцы. Значительная биомасса (сопоставимая по величине с зимней) наблюдается в июле-августе. С марта по май биомасса

низкая, наблюдается уменьшение биомассы в 10 раз по сравнению с зимними месяцами.

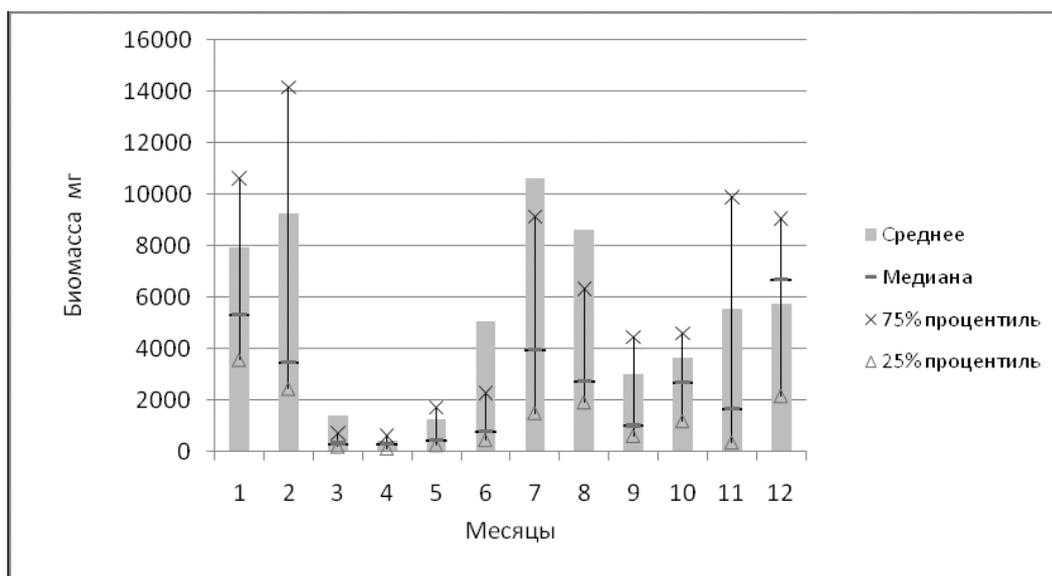


Рисунок 2.2.3. Станция ИБМ. Статистические характеристики распределения биомассы водорослей по месяцам за 1996-2008гг.

Для выявления связи между биомассой и параметрами воды (температура и соленость) были рассчитаны их коэффициенты корреляции ежемесячно по первому набору. Несмотря на то, что температура и соленость в каждом рассматриваемом месяце менялась существенно (кроме зимних, где эти параметры были почти постоянные, так как измерения проводились подо льдом), значительные корреляции наблюдались только для октября, в котором изменчивость параметров была не самой большой по сравнению с другими месяцами. В этот месяц коэффициенты корреляции достигали максимальных значений - по солености достигнута величина 0,76, а по температуре 0,52. В остальные месяцы коэффициенты корреляции были по абсолютной величине менее 0,5 и разного знака, то есть существенной зависимости биомассы от параметров среды не наблюдается.

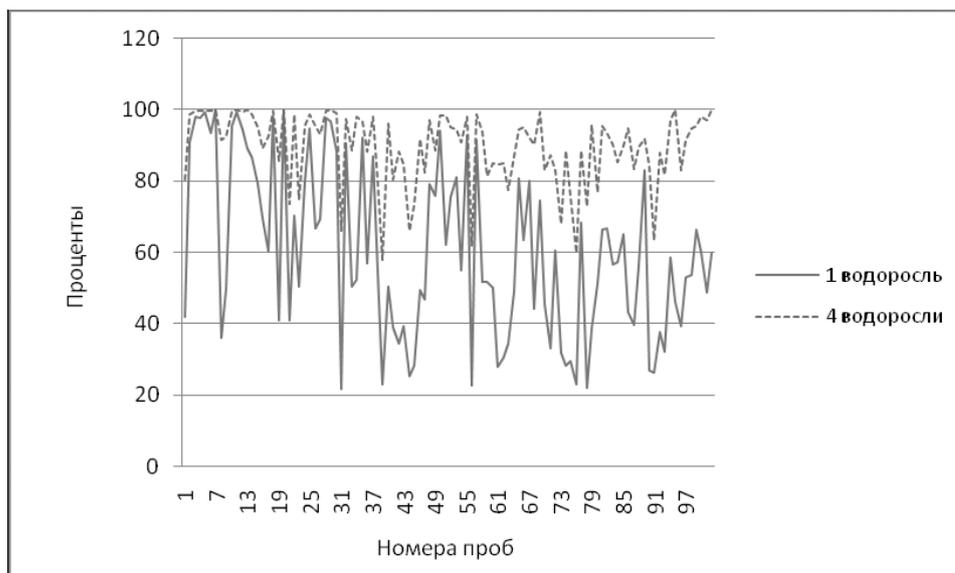


Рисунок 2.2.4. Станция ИБМ. Значения доли биомассы в пробе для одной и четырех лидирующих по биомассе водорослей в пробах.

Наиболее важным вопросом задачи распознавания таксономического состава микроводорослей является вопрос о количестве родов, необходимых для удовлетворительной аппроксимации коэффициентов поглощения и рассеяния в уравнениях (2.2.1-2), и, в первую очередь, количество родов, составляющих подавляющую часть биомассы в пробе. Были проведены расчеты процентного состава лидирующих по биомассе водорослей. В каждой пробе роды водорослей были упорядочены по проценту их биомассы и оценивался процент биомассы пробы, приходящейся на несколько лидирующих водорослей. На рисунке 2.2.4 для первого набора приведены графики процентов биомассы, которая приходится на одну и четыре лидирующих водорослей. Пробы упорядочены по убыванию их суммарной биомассы. На рисунке 2.2.5 построены графики среднемесячных процентов биомассы одной и четырех водорослей (Рисунок 2.2.5а) и количество проб (в процентах), когда одна водоросль превышала 50% биомассы, а четыре – 90% (Рисунок 2.2.5б).

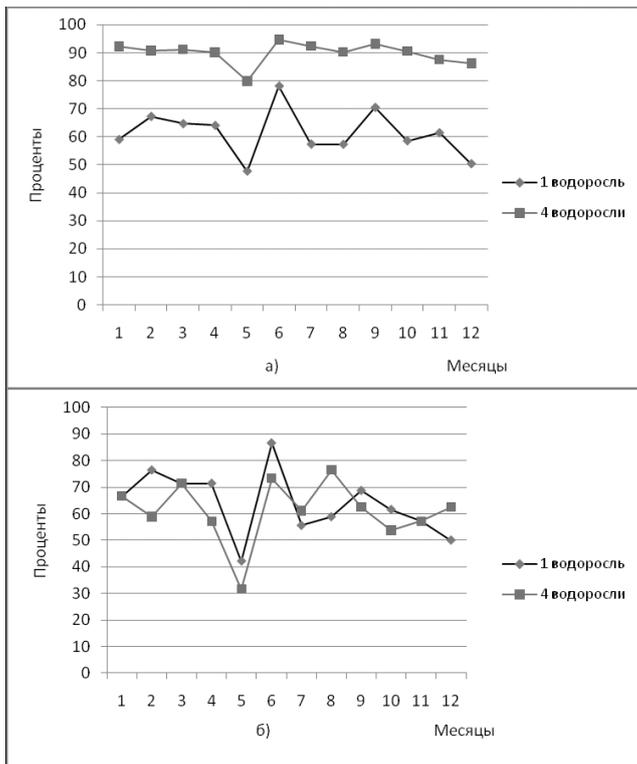


Рисунок 2.2.5. Станция ИБМ. Среднемесячные значения процентов биомассы в пробе для 1 и 4 самых массовых водорослей (а). Среднемесячные значения процентов проб, в которых одна водоросль превысила 50% биомассы пробы, а четыре водоросли превысили 90% (б).

Из этих графиков можно сделать следующие выводы. Значительной «пестроты» видового состава не наблюдается. В среднем около 60% биомассы приходится на одну водоросль. На лидирующую водоросль почти всегда приходится не менее 20% биомассы. Четыре водоросли в среднем исчерпывают 90% биомассы и это гарантировано происходит примерно в 60% проб. Анализ графиков двух других наборов показал близость результатов.

Для анализа зависимости процентного состава биомассы лидирующих водорослей в пробах от величины биомассы строились тренды распределений для всех наборов. Различные наборы и их части показывали слабо выраженные тренды различной направленности и формы. То есть анализ не показывал какой-либо яркой тенденции. Тренды были скорее обусловлены короткостью выборок, чем какой-либо закономерностью.

Для анализа изменчивости статистических характеристик были построены средние и медианные оценки распределения процентного состава лидирующей по биомассе водоросли (Рисунок 2.2.6). В отличие от распределения биомассы (Рисунок 2.2.3), распределение процентного состава показывает близость медианных и средних оценок и не столь высокую несимметричность процентилей. Для четырех водорослей эти тенденции еще больше выражены. Характер этих распределений говорит об отсутствии сильной зависимости от месяца наблюдений и отсутствии существенной зависимости от характерной биомассы. Полученные оценки позволяют решать задачу подбора оптимального количества доминирующих водорослей для уравнений (2.2.1-2). В таблице 2.2.1 приведены оценки минимального количества родов, которое надо использовать в уравнениях, чтобы «исчерпать» заданный процент биомассы. В силу ограниченности второго и третьего наборов данных подобные оценки для них можно получить только для нескольких месяцев.

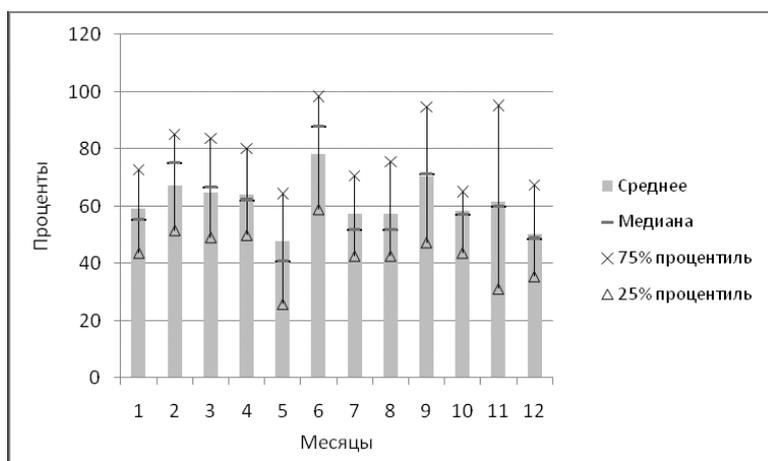


Рисунок 2.2.6. Станция ИБМ. Статистические оценки процентного состава лидирующей по биомассе водоросли в пробе в каждом месяце за 1996-2008гг.

Таблица 2.2.1. Станция ИБМ. Минимальное количество родов водорослей в каждом месяце, необходимое для покрытия не менее 90% биомассы в пробе с вероятностями 90,80,70%.

	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
90%	6	7	7	7	12	6	7	9	6	6	9	9
80%	5	5	6	6	11	5	6	6	5	5	8	7
70%	5	5	4	6	9	4	5	4	5	5	6	6

Для оценки зависимости распределения процентного состава доминирующих водорослей от района анализировались накопительные гистограммы (Рисунок 2.2.7). Аналогичные гистограммы были построены и для двух других выборок. Гистограммы были похожи и показывали почти линейный рост для одной водоросли и полиномиальный для четырех. Отличия гистограмм различных наборов небольшие и объясняются скорее всего «рыхлостью» гистограмм второго и третьего наборов, обусловленной значительной изменчивостью процентного состава биомассы водорослей в пробе в совокупности с относительно небольшим количеством данных в этих выборках. Так, процент проб, для которых биомасса одной водоросли была меньше 50% биомассы пробы, составил 36%, 44% и 31% для трех наборов данных соответственно. Для нивелирования «рыхлости» гистограмм и получения оценки количественного соответствия вышеприведенного распределения первого набора с распределениями двух других было произведено огрубление гистограмм. Данные группировались следующим образом: для одной водоросли были выбраны диапазоны 0 %– 45% , 45% - 70%, 70% - 100%; для четырех водорослей – 0% - 85%, 85%-95%, 95%-100%. Использование критерия согласия χ^2 дало соответствие распределений как для одной, так и для четырех водорослей с уровнем значимости не хуже 0.05, что показывает отсутствие существенной зависимости характеристик распределения от района.

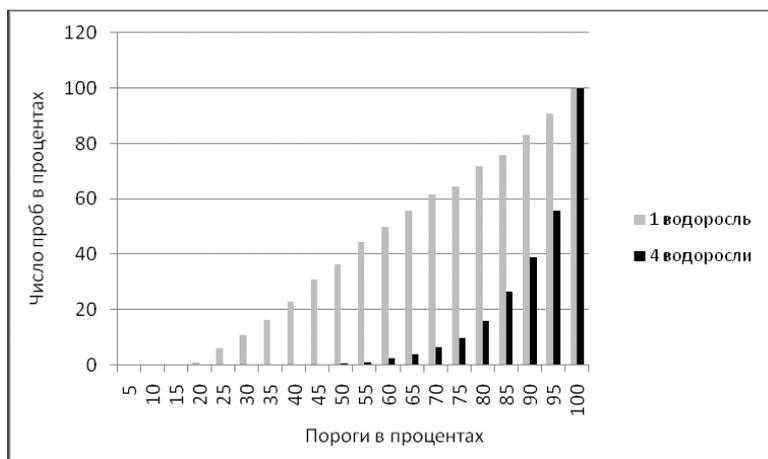


Рисунок 2.2.7. Станция ИБМ. Число проб в процентах, для которых одна и четыре самых массовых водоросли в пробе не превышают заданные пороги процентного содержания их биомассы в пробе.

Детальный анализ процентного состава первых четырех доминирующих водорослей приведен на рисунке 2.2.8. Почти линейный рост первой доминирующей водоросли (Рисунок 2.2.8а) от 20 до почти 100% говорит о равномерном распределении этой величины. Остальные водоросли, в основном тоже имеют линейное распределение, кроме последних небольших участков. На них водоросли, расположенные на 2, 3 и 4-ом местах по биомассе в пробе, резко увеличивают свою концентрацию, не достигая своих предельных значений. Таким образом, почти всегда существует значительный разрыв между первой и второй лидирующими водорослями.

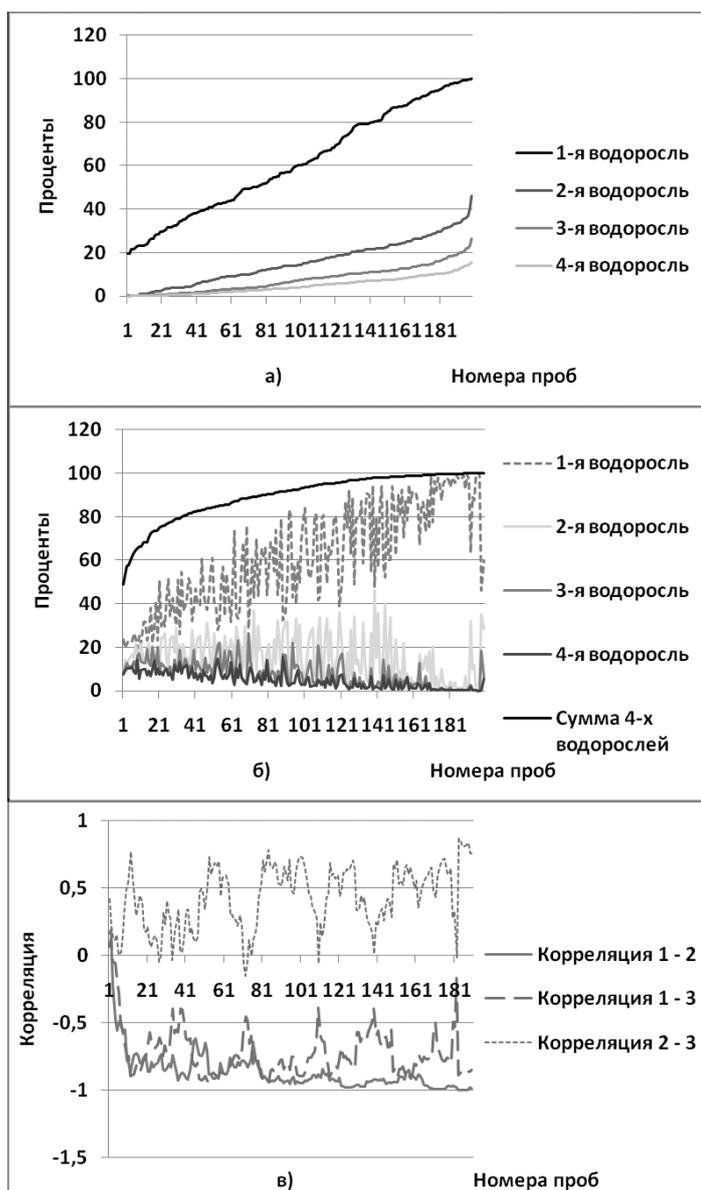


Рисунок 2.2.8. Станция ИБМ. Процентный состав доминирующих водорослей: а – упорядоченные по возрастанию значения первых четырех водорослей; б – упорядоченная по возрастанию сумма процентов биомассы четырех водорослей и соответствующие проценты биомассы каждой водоросли в пробе; в – коэффициенты корреляции первых трех лидирующих водорослей между собой, построенные по графикам б.

Наблюдается резкий рост процентного состава (Рисунок 2.2.8б) от 50 до 70% суммарной биомассы первых четырех водорослей в начале графика (15 проб). Все эти пробы относятся к периоду с июня по ноябрь с максимумом в сентябре. Как можно заметить, рост процентного состава четырех лидирующих

по биомассе водорослей обусловлен в основном ростом процентного состава первой водоросли и медленным убыванием всех остальных. Таким образом, преобладает монодоминирование, когда один род подавляет все другие. Этот вывод подтверждает и рисунок 2.2.8в, на котором приведены коэффициенты корреляции процентных составов водорослей между собой. Корреляции рассчитывались для каждых 10 близлежащих точек графиков лидирующих водорослей, представленных на рисунке 2.2.8б. Коэффициенты корреляции водорослей 1-2 и 1-3 в основном отрицательны и близки к -1, то есть первая водоросль подавляет остальные. И чем больше процент биомассы четырех водорослей в пробе, тем ближе корреляция первой и второй водорослей к -1.

Невысокие положительные корреляции второй и третьей водоросли говорят о том, что их конкуренция не столь существенна, по сравнению с конкуренцией с первой водорослью. Но все же она есть, на что указывает противоположная направленность пиков графиков корреляций 1-3 и 2-3. Исключением является первый десяток проб (Рисунок 2.2.8б) - концентрации всех четырех водорослей близки друг к другу и коэффициенты корреляций существенно выше -1. Видимо, это соответствует случаю избытка питательных веществ, когда при равных стартовых условиях сразу несколько лидирующих родов водорослей имеют близкие относительные концентрации. Это явление более ярко выражено в пробах станции Восток, измерения которой часто попадают в зону выбросов речного стока, богатого биогенами. Три пробы станции имели почти равные концентрации первых четырех лидирующих родов водорослей, а минимальная концентрация первой водоросли была меньше 20% и опускалась до 13%. В целом же характеристики распределения процентного состава родов водорослей схожи с характеристиками станции ИБМ.

Доминирующие виды водорослей.

Флористическое разнообразие фитопланктона (116 родов) осложняет решение задачи распознавания водорослей дистанционными методами. Установление доминирующих по биомассе и по процентному составу водорослей в пробах в различных районах залива позволяет ее упростить. Для построения списка доминирующих родов рассчитывались среднегодовые величины биомассы и процентного состава родов водорослей по всем наборам данных. Для нивелирования неоднородности плотности измерений среднегодовые величины рассчитывались на основе среднемесячных. Полученные графики распределения приведены на рисунке 2.2.9. Средняя биомасса экспоненциально уменьшается и падает более чем в 10 раз в пределах первых десяти родов, а для рода, занимающего 35-е место уменьшение достигает двух порядков. К 15 лидирующим по биомассе родам относятся (в порядке убывания средней биомассы): *Thalassiosira*, *Coscinodiscus*, *Noctiluca*, *Pseudo-nitzschia*, *Chaetoceros*, *Thalassionema*, *Rhizosolenia*, *Eutreptia*, *Gymnodinium*, *Skeletonema*, *Prorocentrum*, *Ditylum*, *Diplopsalis*, *Dactyliosolen*, *Protoperdinium*. По процентному составу убывание также значительное. Таким образом, доминирующих по биомассе и процентному составу родов микроводорослей относительно немного.

Поскольку цветение микроводорослей может носить строго сезонный характер, то проводился анализ доминирующих по биомассе родов водорослей только в пробах, в которых они присутствовали. Анализ первых 15 доминирующих родов показал, что они же в основном входят в список, приведенный выше. Исключение составили 3 рода, для которых ненулевые значения наблюдались менее чем в 5% проб, то есть это были редко встречающиеся водоросли.

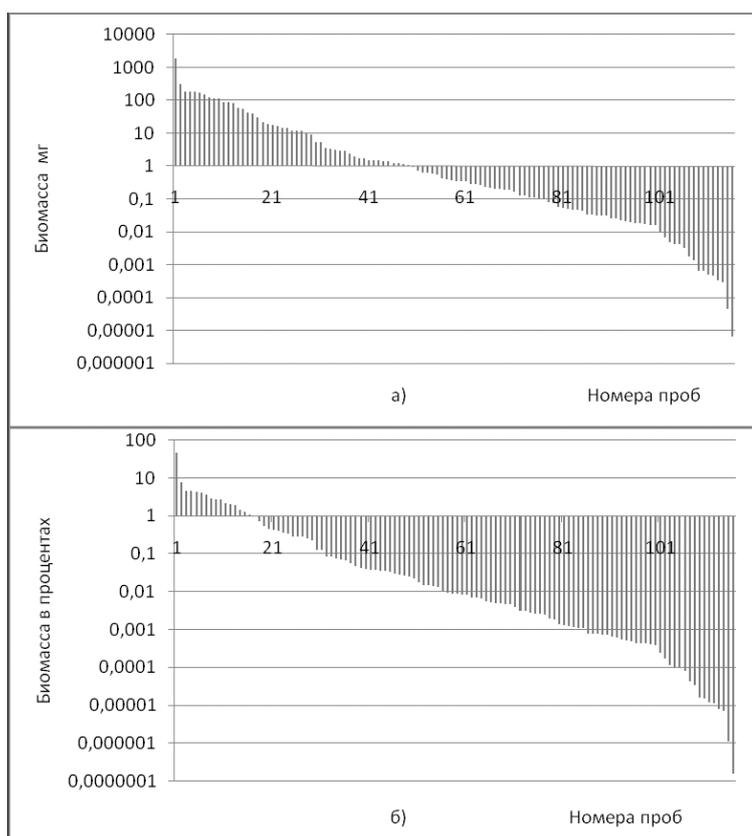


Рисунок 2.2.9. Упорядоченные по убыванию средние биомассы родов водорослей (а) и аналогично рассчитанные величины их процентного состава в пробах (б).

Для выявления влияния района на список доминирующих водорослей проводилось упорядочивание родов по величине их среднегодовой биомассы каждого набора данных. Сравнение доминирующих родов показало, что первые 10 родов первого набора входят также в десятку лидеров, второго и/или третьего набора проб. То есть, по сути, лидирующие водоросли являются общими для разных частей залива. Анализ видового состава каждого из этих 10 родов показал, что для девяти родов более половины его биомассы приходится на один вид. Исключение составил род *Chaetoceros*. Это позволяет надеяться на то, что с определением рода водоросли дистанционными методами мы с высокой вероятностью можем ожидать доминирование конкретного вида.

Таблица 2.2.2. Станция ИБМ. Распределение доминирующих (по процентам в пробах) родов водорослей для каждого месяца. (Список сокращений приведен в приложении).

Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.
Thal.	Thal.	Thal.	Chaet.	Chaet.	Cosc.	Noct.	Gym.	Dit.	P.nitz	Thlm.	Thal.
Cosc.	Cosc.	Рух.	Pleur.	Prot.	Rhiz.	Eutr.	Pror.	Thal.	Rhiz.	P.nitz	P.nitz
Chaet.	Chaet.	Nav.	Dinob.	Rhiz.	Thlm.	Thlm.	Skel.	Rhiz.	Thal.	Rhiz.	Chaet.
Rhiz.	Prot.	Prot.	Thal.	Thlm.	Noct.	Skel.	Chaet.	Noct.	Skel.	Dact.	Lept.
Pleur.	Mel.	Rhiz.	Nav.	Dinob.	Dinop.	Pror.	Cosc.	Chaet.	Thlm.	Dipl.	Cosc.
Lept.	Rhiz.	Gyrd.	Prot.	Nav.	Chaet.	Scrip.	Prot.	P.nitz	Noct.	Thal.	Rhiz.
Eutr.	Lept.	Chaet.	P.nitz	Cosc.	P.nitz	Dipl.	Dit.	Cer.	Dict.	Lept.	Prot.
Mel.	Eutr.	Lept.	Gyrd.	Dinop.	Prot.	Chaet.	Dipl.	Gyrd.	Dact.	Chaet.	Dact.
Prot.	Nav.	Dict.	Thlm.	Dipl.	Thal.	Prot.	Scrip.	Cosc.	Cosc.	Cosc.	Skel.
S.fl.	Pleur.	Plag.	Nitz.	Dact.	Dit.	Cosc.	Thal.	Skel.	Chaet.	Poly.	Pleur.

Роды в столбцах расположены в порядке убывания доли в пробе и разделены горизонтальными линиями на интервалы: выше первой линии доля рода в пробах превышает 10%; между второй линией и первой доля водоросли лежит в диапазоне 1%-10%, а ниже второй линии – меньше 1%.

С целью получения практических таблиц для постановки задачи распознавания водорослей был проведен детальный анализ. Лидирующие водоросли упорядочивались по их среднемесячной биомассе, выраженной в процентах от общей биомассы всех проб за месяц. Результаты сводились в таблицы. Таблица 2.2.2, например, дает представление о том, какие роды водорослей наиболее вероятно будут присутствовать в пробах первого набора и в каких пропорциях для заданного месяца. Аналогичные таблицы были построены для двух других наборов данных. Сокращение таксономического состава, в рамках которого предполагается решать задачу распознавания водорослей, является основной целью составления подобных таблиц. Для оценки представительности этих выборок были проанализированы возможности их использования в качестве достаточного списка видов, отвечающих за биомассу водорослей в пробе. В таблице 2.2.3 для каждого месяца приведены проценты биомассы, приходящиеся на 10 доминирующих родов водорослей.

Таблица 2.2.3. Процент месячной биомассы, приходящийся на 10 доминирующих по биомассе водорослей для каждого набора данных.

набор	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.
1	99,43	99,30	95,36	88,53	94,43	95,56	90,74	92,51	80,4	90,95	96,15	99,18
2	99,96	99,97	99,4	99,51	99,82	94,56	91,44	93,9	89,9	79,43	97,48	99,51
3		99,84		95,2	95,84	95,36	86,41	79,52	90,59	85,02	91,43	

Так как для распознавания рода водорослей важны характеристики процентного состава в пробах, а не их биомасса, то был проведен аналогичный анализ лидирующих родов по процентному составу. В таблице 2.2.4 представлены результаты расчетов среднемесячной величины процентного состава проб, приходящаяся на лидирующие водоросли. Сопоставление результатов анализа доминирующих водорослей по биомассе и процентному составу показывает их схожесть. Для заданного набора данных и заданного месяца списки лидирующих водорослей близки. В целом, более 80% биомассы «исчерпываются» десятью водорослями. В зимние месяцы этот процент существенно выше. Для процентного состава картина несколько хуже, но не на много.

Таблица 2.2.4. Среднемесячная величина процентного состава проб, приходящаяся на 10 доминирующих по процентному составу водорослей.

набор	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.
1	99,09	97,44	77,33	83,64	87,53	75,92	82,51	77,97	72,9	85,15	90,1	97,08
2	99,88	99,97	98,9	99,45	99,83	90,77	81,83	79,27	80,7	78,46	96,82	99,38
3		99,84		95,1	95,83	95,49	85,3	79,38	88,91	85,54	90,97	

Для оценки идентичности наборов доминирующих водорослей в разных районах были рассчитаны проценты биомассы наборов 2 и 3, которые соответствуют доминирующим водорослям набора 1 (таблица 2.2.5). Для некоторых месяцев (в первую очередь зимних) доминирующие виды можно

считать общими для всего залива, так как они обеспечивают более 90% биомассы. Однако для ряда месяцев, характеризующихся значительным количеством измерений, картина существенно другая. То есть в разных районах залива в заданном месяце цветут разные водоросли. Если исходить из близости видового состава водорослей в разных частях залива, то возможным объяснением этого может быть не одновременность цветения доминирующих водорослей. На близость видового состава разных частей залива указывают также следующие факты. Из 26 родов, достигавших монодоминирования (более 50% биомассы в пробе), только 4 не входят в список монодоминирующих водорослей наиболее представительного первого набора проб. А из 116 родов, встретившихся в пробах залива, только 6 родов не встречались в первом наборе. К последним относятся роды: - *Corethron*, *Cymbella*, *Thalassiothrix*, *Minuscula*, *Planktoniella*, *Pselodinium*.

Таблица 2.2.5. Процент месячной биомассы второго и третьего наборов данных, приходящийся на 10 доминирующих по биомассе водорослей набора 1.

набор	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.
2	96,43	99,64	95,22	72,18	74,82	50,28	33,57	53,06	38,8	52,25	90,22	96,67
3		99,6		70,82	20,6	80,38	30,05	30,14	79,29	68,87	70,92	

Характерные размеры водорослей в пробах

На зависимость коэффициента рассеяния фитопланктона $b_b(\lambda)$ от длины волны λ существенное влияние оказывает характерный размер его клеток. Эту зависимость можно использовать для идентификации водорослей. Для качественной оценки статистических характеристик характерных размеров клеток в пробах предполагалось, что клетка каждого вида имеет форму шара, для которого считалась его площадь сечения. Последняя и рассматривалась, как площадь сечения клетки. Характерный размер клеток в пробе рассчитывался как среднее сечение клеток.

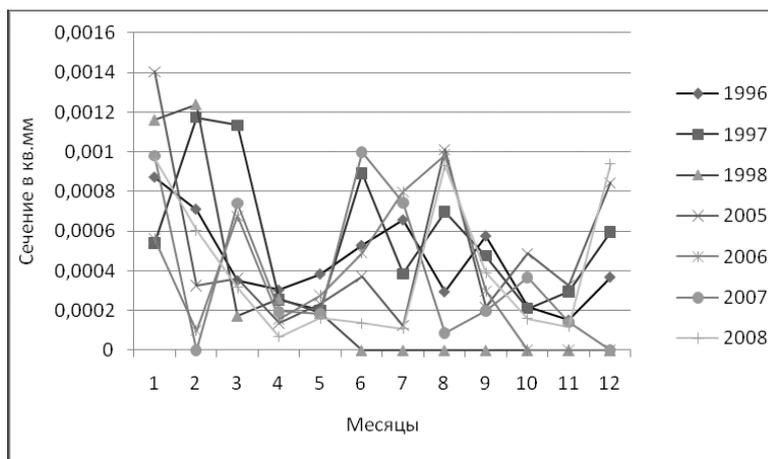


Рисунок 2.2.10. Станция ИБМ. Изменчивость характерного размера водорослей в пробе в зависимости от месяца и года.

На рисунке 2.2.10 приведено распределение характерных размеров клеток в пробах за каждый месяц на станции ИБМ. Следует отметить, что уже средние сечения клеток в пробах существенно меняются в зависимости от года, что позволяет надеяться на успешное использование коэффициента рассеяния для идентификации видов. Это также указывает на то, что в разные годы по биомассе доминируют разные водоросли. Большая изменчивость характерных размеров наблюдается и при анализе их месячных распределений (Рисунок 2.2.11). В то же время в апреле, мае и ноябре изменчивость размеров незначительная. Проведение сопоставления средних сечений трех наборов данных друг с другом показало значительную изменчивость сечений и отсутствие сходства распределений.

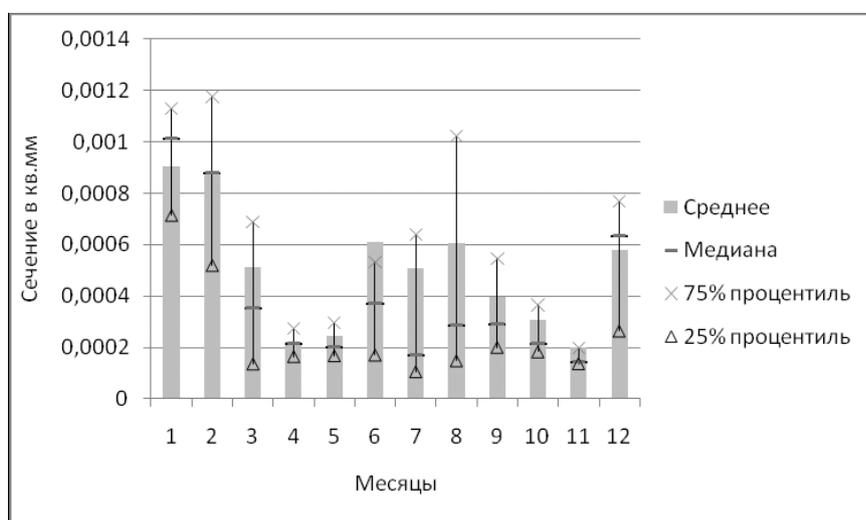


Рисунок 2.2.11. Станция ИБМ. Статистические оценки характерного размера водорослей в пробе в зависимости от месяца.

При наличии 116 родов водорослей, встретившихся в пробах, биоразнообразие доминирующих по биомассе родов оказалось не столь велико. В пробе в среднем лидирующий род водорослей составляет около 60% биомассы и фактически не бывает меньше 20%. Четыре рода водорослей в среднем исчерпывают 90% биомассы. Если доминирующий род водорослей имеет характерные спектральные особенности коэффициента поглощения, то он с большой вероятностью будет распознаваться по дистанционным оптическим измерениям. Характерное сечение рассеяния водорослей существенно меняется по величине. Уже среднемесячные величины могут различаться в 5 раз в течение года. Изменчивость сечений в конкретных пробах морской воды еще выше. Таким образом, спектральная изменчивость коэффициента рассеяния назад может служить хорошим индикатором размера доминирующей водоросли. Анализ видового состава проб показывает, что для заданного региона и заданного месяца есть короткий список родов водорослей, которые ответственны в среднем за 90% и более биомассы фитопланктона. Обычно этот список не превышает 10 родов.

Анализ видового состава позволяет утверждать, что в целом в разных местах залива присутствует одни и те же роды фитопланктона. Подавляющая часть родов водорослей (около 75%) никогда не достигала стадии монодоминирования (более 50% биомассы в пробе). В каждом роде в основном доминирует по биомассе один вид. В некоторые месяцы состав доминирующих по биомассе родов водорослей фактически один и тот же для всего залива. Однако есть месяцы, когда списки доминирующих водорослей существенно зависят от места взятия проб.

Изменчивость характерной для заданного месяца биомассы водорослей за весь период наблюдения достигает в течение года десятикратной величины (это по наиболее устойчивым медианным оценкам). Максимум достигается зимой

(подо льдом), а минимум весной. Процентный же состав биомассы родов доминирующих водорослей в пробах меняется слабо от месяца к месяцу и не наблюдается существенной зависимости его от района и величины биомассы. Распределения процентного состава разных районов для одной и четырех доминирующих водорослей похожи по критерию χ^2 с уровнем значимости не хуже 0.05. Полученные данные свидетельствуют о том, что разнообразие видового состава водорослей не должно быть значительным препятствием при решении задачи распознавания доминирующих видов фитопланктона по данным дистанционных оптических измерений.

III ОБОБЩЕНИЕ ДАННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ И МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ

3.1 Общая характеристика выполненных работ.

Основная цель работ по государственному контракту заключалась в разработке таких аппаратных и методологических средств, которые, с одной стороны, позволили бы значительно расширить круг задач, решаемых пользователями УСУ в области оперативного контроля экологического состояния водоемов и атмосферы над ними, а с другой – являлись органичным дополнением уже существующих средств, обеспечивая более высокий уровень достоверности получаемых результатов. Хорошим примером качественного повышения измерений оптических и микрофизических характеристик аэрозоля может служить объединение методик лидарного зондирования атмосферы и фотометрии прямого солнечного излучения. Другой пример – объединение методик радиометрии восходящего излучения моря и лазерной флуориметрии морской воды при выполнении подспутниковых измерений хлорофилла «а» в морской воде с целью верификации спутниковых алгоритмов атмосферной коррекции и биооптических алгоритмов. В качестве третьего примера можно привести объединение методов оптической и радиолокационной регистрации сликовых образований на морской поверхности с методом лазерной дистанционной флуориметрии органических пленок на морской поверхности для организации системы оперативного контроля загрязнения морских акваторий нефтепродуктами.

Рассмотренные выше примеры объединения методик легли в основу технических и методологических решений по разработке программно-аппаратных средств оперативного контроля окружающей среды.

В результате работы по задачам проекта был разработан мобильный аппаратный комплекс проведения подспутниковых измерений хлорофилла «а» и растворенного органического вещества (РОВ) в морской воде, спектрального коэффициента яркости моря и спектральной оптической толщи атмосферы. Вся аппаратура выполнена в мобильном исполнении для ее использования на научно-исследовательских судах. Совместно с данными спутникового радиометра MODIS, принимаемыми аппаратурой УСУ, комплекс позволяет решать широкий круг научных и прикладных задач, включая задачи верификации спутниковых измерений, адаптации спутниковых биооптических алгоритмов и алгоритмов коррекции спутниковых изображений на атмосферные искажения с учетом региональных особенностей оптических характеристик атмосферы и океана.

С целью обеспечения оперативного контроля за загрязнением морских акваторий разработан комплекс аппаратуры двухуровневой системы оптической регистрации органических пленок на морской поверхности. В ее состав входит панорамная видеосистема регистрации и картирования снимков на морской поверхности и флуоресцентный лидар для анализа состава органической пленки.

Для всех аппаратных комплексов разработано программное обеспечение с «дружественным» интерфейсом, позволяющее пользователю максимально быстро обработать результаты измерений.

В период выполнения контракта существенно дополнена методологическая база УСУ:

1. Разработана и внедрена система автоматического спутникового мониторинга за экологическим состоянием прибрежных акваторий.
2. Разработана унифицированная программа обработки данных лидарного зондирования атмосферы.
3. Разработано программное обеспечение расчета интегрального содержания воды, озона и микрофизических характеристик аэрозоля по данным фотометрии прямого солнечного излучения.

В период выполнения контракта выполнен большой объем экспериментальных работ в предметной области НИР.

Накопление данных в области спутникового зондирования океана и атмосферы проводилось ежедневно в режиме мониторинга в соответствии с «расписанием» движения спутников Aqua, Terra и NOAA. Кроме того, с получасовым интервалом принимались данные геостационарного спутника MTSAT. Спутниковые снимки аккумулированы в базе данных на сервере института и доступны пользователю по адресу: www.satellite.dvo.ru

Лидарные измерения высотного распределения аэрозоля так же проводились в режиме мониторинга, за исключением дней, когда облачность не позволяла проводить измерения. Особый интерес представлял весенний период времени, соответствующий пылевой активности в аридных районах юго-восточной Азии. С марта по июль месяц работы по лидарному зондированию атмосферы проводились, практически, ежедневно (с учетом погодных условий) три раза в сутки по 3-4 серии в зондировании. Результаты зондирования занесены в базу данных и доступны пользователю для просмотра по адресу: <http://laserimpactor.iacp.dvo.ru>

Полевые работы по измерению оптических, биооптических и гидрофизических характеристик морской воды выполнялись в рамках морских экспедиций в навигационный период с мая месяца по 15 октября 2009 – 2010 гг. Организованы 2 морские экспедиции в Охотское море, одна – Японское море и 23 выхода в море в заливе Петра Великого на научных судах Дальневосточного отделения РАН.

В зимне-весенний период времени 2010 г. выполнена длительная серия измерений биооптических и гидрологических характеристик морской воды на одной из океанологической станций в акватории залива Петра Великого. Цель эксперимента – изучение динамики подледного цветения фитопланктона.

Общий объем выполненных работ в морских экспедициях и станциях представлен в таблице 3.1.1.

Таблица 3.1.1

Объем накопленных экспериментальных данных за отчетный период

Параметр	Кол-во измерений
1. Спектры отражательной способности морской воды	75
2. Спектры флуоресценции морской воды	Более 20000
3. Трехмерные спектры флуоресценции морской воды	137
4. Глубинные профили гидрологических и биооптических параметров морской воды	94

3.2 Автоматизированный комплекс мониторинга загрузки атмосферы антропогенным и естественным аэрозолем на основе сети солнечных фотометров и передвижной станции, включающей метеостанцию, солнечный фотометр и трехчастотный аэрозольный лидар.

Передвижная станция мониторинга аэрозоля ориентирована на использование на научно-исследовательских судах. Она включает в себя метеостанцию, мобильный солнечный фотометр и трехчастотный лидар.

Сеть солнечных фотометров образована двумя стационарными солнечными фотометрами и одним мобильным, который может работать в режиме стационарного при его установке на систему слежения за положением солнца. Один из стационарных фотометров закуплен из средств данного контракта и установлен на крыше здания ИАПУ в черте города Владивостока. Второй солнечный фотометр установлен в поселке Горнотаежное и выполняет фоновые измерения аэрозольной загрузки атмосферы в отсутствие антропогенного аэрозоля. Мобильный солнечный фотометр в период морских экспедиций используется в составе передвижной станции мониторинга аэрозоля на судне, а в обычное время установлен, в зависимости от решаемых задач, либо на экспериментальной станции Тихоокеанского океанологического института (ТОИ) в бухте Витязь, либо на крыше здания ТОИ. Характеристики солнечного фотометра приведены в разделе 6.4.

Характеристики трехчастотного лидара приведены в таблице 3.2.1.

Таблица 3.2.1

Технические характеристики трехчастотного лидара.

Излучатель	NdYAG лазер Энергия в импульсе – 60 мДж, Длительность импульса – 6 нс Частота посылок – 20 Гц
Длина волны зондирующего излучения	$\lambda_1=355$ nm $\lambda_2=532$ nm $\lambda_3=1064$ nm

Телескоп	Кассегрен, апертура - 300 мм
Каналы регистрации	$\lambda_1=355$ nm (аэрозоль) $\lambda_2=532$ nm (аэрозоль) $\lambda_3=1064$ nm (аэрозоль) $\lambda_4=607$ nm (КР азота)
Система регистрации	аналоговая
Пространственное разрешение	16 м
Диапазон высот регистрации	1 – 15 км
Статистическая погрешность определения аэрозоль-молекулярного отношения в пределах планетарного слоя при накоплении 5000	< 20%

На рисунке 3.2.1 приведены графики вертикальных профилей аэрозоль-молекулярного отношения в период регистрации трансграничного переноса пылевого аэрозоля из аридных районов Китая и Монголии. Отчетливо прослеживаются основные высоты переноса аэрозоля: подтропопаузный слой (7-10 км) и в пределах планетарного слоя (0-2 км).

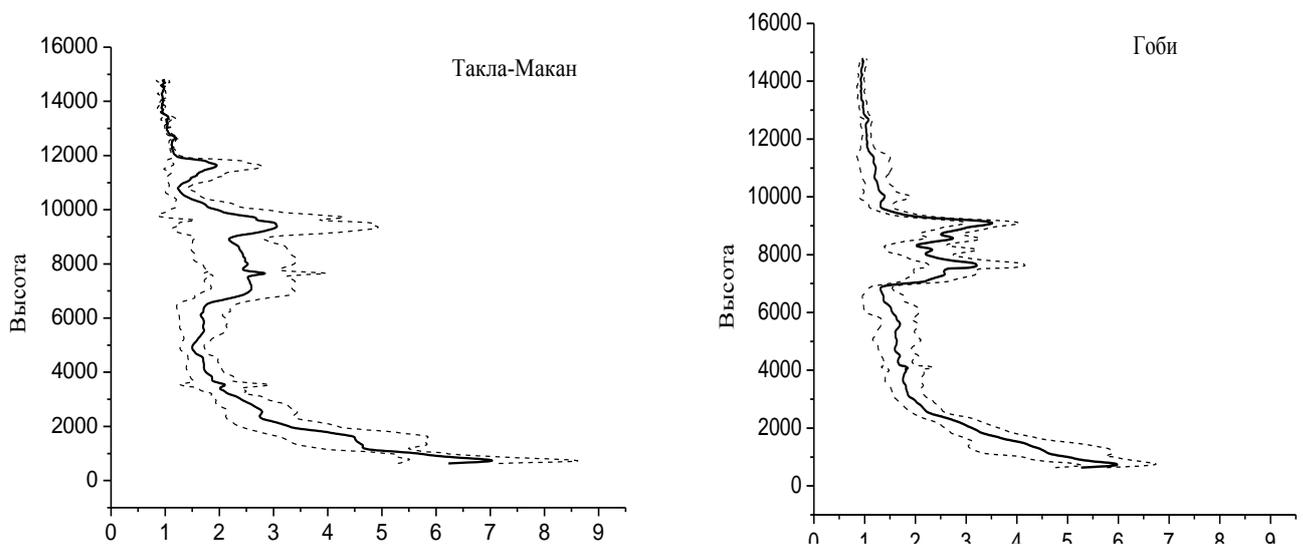


Рисунок 3.2.1 Вертикальные профили аэрозоль-молекулярного отношения в атмосфере Приморского края в период прохождения пылевой бури в: а – пустыне Такла-Макан; б – пустыне Гоби

Оценка статистической погрешности измерений аэрозоль-молекулярного отношения.

На рисунке 3.2.2 приведен средний профиль аэрозоль-молекулярного отношения

(синяя линия) и профиль статистической погрешности (красная линия) по ансамблю профилей в одной серии измерений (5000 измерений, длительность измерений – 4 минуты). Из графика видно, что статистическая погрешность измерений в пределах планетарного слоя (ППС на графике) не превышает 0.5%.

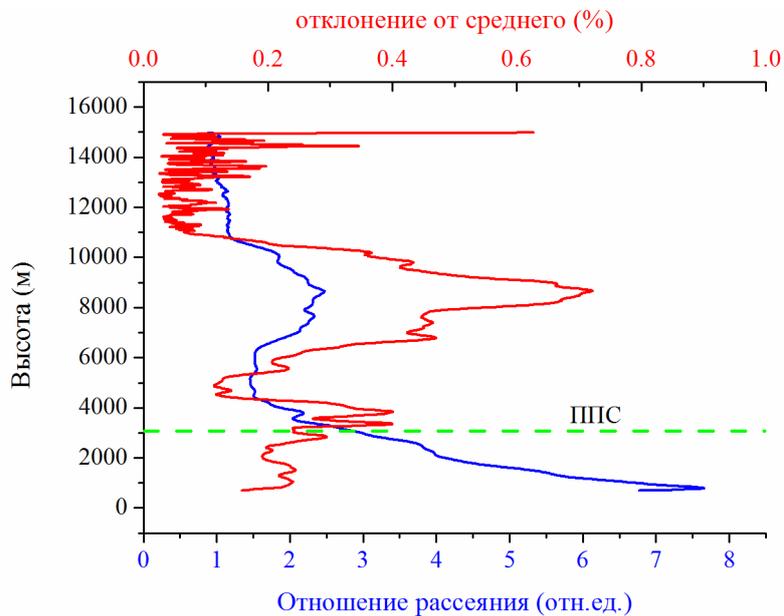


Рисунок 3.2.3 профиль аэрозоль-молекулярного отношения

3.3 Автоматизированный комплекс мобильных средств оперативного контроля состояния клеток фитопланктона, как важнейшего индикатора экологического состояния водоемов.

Большинство оптических методов, применяемых для оценки содержания фитопланктона в морской воде, используют оптические свойства одного из основных пигментов клетки фитопланктона – хлорофилла «а». Концентрация хлорофилла «а» в морской воде является мерой концентрации фитопланктона. Если спутниковые методы измерения основаны на расчете концентрации хлорофилла «а» по его линии поглощения света, то в судовых измерениях наиболее часто используется флуоресцентный анализ.

Результаты литературного обзора и патентного поиска показали, что существующие судовые флуориметры по способу их применения и функциональным возможностям можно условно подразделить на три типа.

К первому и наиболее дешевому типу относятся флуориметры, выполненные в виде зонда или дополнительной насадки на гидрологический зонд. Они выполнены в виде оптической ячейки, через которую осуществляется свободный проток морской воды по мере погружения зонда. Оптическая ячейка включает в себя импульсный источник света и фотоприемник для возбуждения и регистрации спектра флуоресценции хлорофилла «а» в морской воде. Связь с компьютером осуществляется по кабельтросу гидрологического зонда. Как правило, в таких флуориметрах регистрируется интенсивность флуоресценции в одном спектральном канале – на одной длине волны, соответствующей максимуму линии флуоресценции хлорофилла «а». Этот тип флуориметров применяется для измерения вертикального профиля концентрации хлорофилла «а» при проведении зондирований на океанологических станциях в режиме дрейфа судна. В последних моделях флуориметров применяется трехимпульсное возбуждение флуоресценции, что позволяет получать дополнительную информацию о состоянии фотосинтетической системы клетки фитопланктона. Недостаток одноканальной спектральной регистрации таких флуориметров сказывается в

шельфовых и прибрежных водах с большим содержанием растворенного органического вещества (РОВ) и наиболее богатых фитопланктоном. В этом случае линия флуоресценции хлорофилла «а» перекрывается с интенсивной и широкой линией флуоресценции РОВ, что вносит существенную систематическую ошибку при измерении концентрации хлорофилла «а».

Ко второму типу судовых флуориметров относятся флуориметры на основе флуорисцентных лидаров. Принцип работы таких систем основан на лазерном зондировании верхнего слоя океана через открытую морскую поверхность и регистрации сигнала не упругого обратного рассеяния. Этот способ позволяет довольно просто организовать многоканальную систему регистрации спектра флуоресценции морской воды, включающего спектральные линии основных пигментов фитопланктона и РОВ, что позволяет эффективно их разделить и учесть при расчете концентрации пигментов и хлорофилла «а» в их числе. Основным же недостатком лидарных флуориметров состоит в их высокой стоимости, поскольку они используют дорогостоящую оптику, и в том, что зондирование ограничено верхним 10 метровым слоем и состоянием морской поверхности, через которую производится зондирование. Метод судовой лидарной флуориметрии применяется на ходу судна для оценки содержания хлорофилла «а» в морской воде интегрально по верхнему 10 метровому слою океана.

К третьему типу судовых флуориметров относятся флуориметры проточного типа, использующие для анализа забортную воду, отбираемую с определенного горизонта океана судовыми помпами. Этот способ позволяет работать на ходу судна и проводить непрерывные измерения концентрации хлорофилла «а» в верхнем слое на строго определенном горизонте. В сочетании со спутниковыми измерениями, способ позволяет интерполировать данные судовых маршрутных измерений на большие площади. Преимущество способа состоит в том, что основное дорогостоящее оборудование находится всегда на борту судна и дает возможность организовать многоканальную спектральную систему регистрации спектра флуоресценции морской воды.

Совместное использование данных судовых проточных флуориметров (маршрутный промер на одном горизонте), погружных судовых флуориметров (вертикальные профили в отдельных точках маршрута) и результатов спутникового зондирования открывают перспективу построения модели трехмерного распределения полей хлорофилла «а» и оценки его содержания на больших площадях исследуемых акваторий.

В рамках проекта были разработаны рабочие макеты:

1. судового двухчастотного лазерного флуориметра, объединяющего возможности проточного и погружного вариантов (третьего и первого типов судовых флуориметров);

2. мобильного двухчастотного флуоресцентного лидара.

На рисунке 3.3.1 представлен общий вид судового лазерного флуориметра с световодной насадкой, основное предназначение которого – измерять концентрацию хлорофилла «а» в проточной морской воде по спектрам лазерной индуцированной флуоресценции (ЛИФ). Как правило, содержание фитопланктона в морской воде оценивается по концентрации в ней хлорофилла «а», одного из основных пигментов клетки фитопланктона. Судовой флуориметр состоит из базового модуля и световодной насадки, выполненной в виде погружаемого зонда, который соединяется с базовым модулем двумя световодами.



а



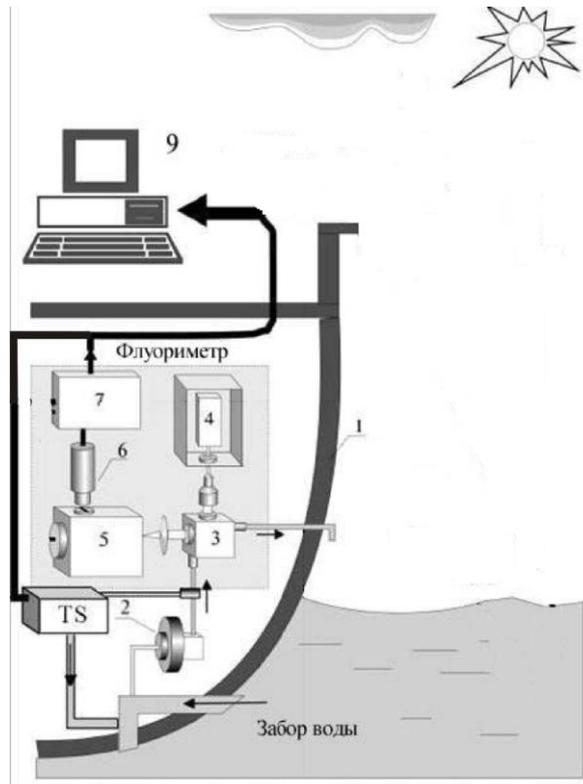
б

Рисунок 3.3.1 Прокачиваемый ЛИФ спектрометр



Рисунок 3.3.2 Расположение лазерного флуориметра на борту судна «Малахит»

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. На рисунке 3.3.3 приведена блок схемы работы лазерного флуориметра в режиме проточного варианта.



1– корпус судна; 2 – помпа прокачки забортной воды; 3 – прокачиваемая оптическая кювета; 4 – лазер; 5 – полихроматор; 6 – ЭОП; 7 – CCD камера; 9 – компьютер; TS – измерительный модуль температуры и солености воды

Рисунок 3.3.3 Блок-схема работы флуориметра на ходу судна



Рисунок 3.3.4 Вид системы забора морской воды, прокачиваемой через флуориметр

В режиме работы на ходу судна заборная вода с помощью помпы 2 прокачивается через внутреннюю оптическую ячейку базового модуля 3, которая освещается излучением NdYag лазера 4 ($\lambda=532$ нм) и возбуждает лазерную индуцированную флуоресценцию морской воды (ЛИФ). Спектр флуоресценции регистрируется CCD камерой 7 на выходе полихроматора 5 с усилителем яркости 6 на основе ЭОП. Измерение ЛИФ спектров морской воды в непрерывном режиме позволяет получать информацию о пространственном распределении хлорофилла «а» на одном из горизонтов по маршруту судна.

В режиме работы на станциях, для измерения вертикального профиля концентрации хлорофилла «а» к базовому модулю через оптические разъемы подсоединяются световоды глубоководной измерительной ячейки – зонда, благодаря которой осуществляется измерение вертикального профиля

распределения хлорофилла «а». На рисунках 3.3.5 и 3.3.6 приведены блок-схема световодной насадки и ее фотография, соответственно.

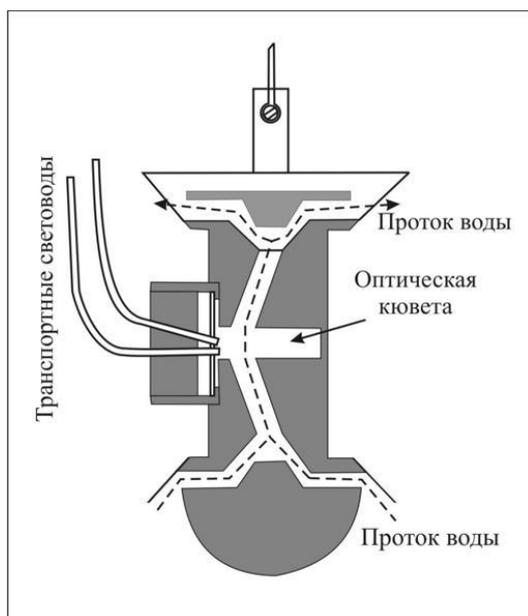


Рисунок 3.3.5 Зонд - оптоволоконная насадка



Рисунок 3.3.6 Погружаемый модуль флуориметра

Погружаемый модуль 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 светопоглощающее 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. Торцы оптических волокон защищаются от прямого контакта с водой с помощью герметичного корпуса с иллюминатором из кварцевого стекла.

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 амплитудно-частотной характеристики (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 подъема. Размеры погружаемого модуля составляют: диаметр – 140 мм, длина – 270 мм.

Второй отличительной особенностью флуориметра является система регистрации спектра лазерной индуцированной флуоресценции (ЛИФ) морской воды, которая обеспечивает многоканальный прием в 640 спектральных каналов в диапазоне длин волн 540-760нм. Широкая полоса регистрации и высокое спектральное разрешение обеспечивают возможность осуществить разделение линий флуоресценции основных пигментов клетки фитопланктона на фоне широкой линии флуоресценции растворенного органического вещества (РОВ), что существенно уменьшает систематическую ошибку (характерную для одноканальных флуориметров) расчета концентрации хлорофилла «а» в водах второго оптического типа (как правило – прибрежные и шельфовые

воды), для которых характерно повышенное содержание РОВ и независимость его концентрации от содержания хлорофилла «а».

Устройство и состав проточного двухчастотного лазерного флуориметра (ДЛФ):

ДЛФ состоит из:

- двухчастотного лазера возбуждающего излучения (Nd :YаG вторая и третья гармоники – 532 и 355 нм) с направляющей оптикой, позиции 1- 3 рисунок 3.3.7.;
- двух проточных оптических кювет, позиция 4 рисунок 3.3.7 в каждой жидкость возбуждается своей длиной волны;
- фильтров, позиция 5 рисунок 3.3.7, поглощающих рассеянное лазерное излучение;
- многоволоконного двух канального световода, позиция 6 рисунок 3.3.7;
- системы регистрации спектров флуоресценции включающей в себя:
 - светосильный (f/2) малогабаритный спектрограф, поз 7 рисунок 3.3.7;
 - усилитель яркости (ЭОП) , позиция 8 рисунок 3.3.7;
 - ПЗС-камера с объективом, позиции 9,10 рисунок 3.3.7, для снижения тепловых шумов в камеру встроена Пельтье охладитель;
 - компьютер, позиция 11 рисунок 3.3.7.

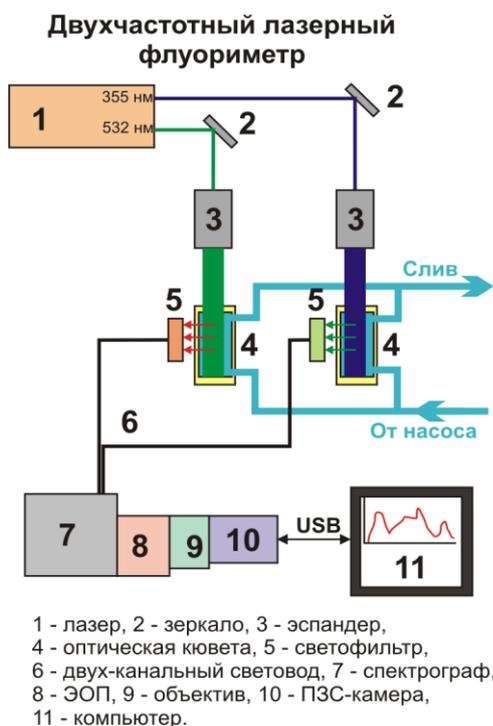


Рисунок 3.3.7 Схема ДЛФ

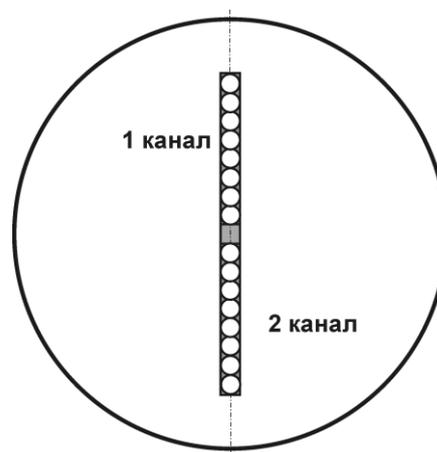


Рисунок 3.3.8 Укладка оптоволоконна

Многоволоконный световод, поз 6 рисунок 3.3.7 обеспечивает ввод сигналов с обеих кювет в один регистратор. Его конец, подсоединяемый к спектрографу, имеет линейную разделённую укладку оптоволокон обоих каналов по высоте входной щели спектрографа, рисунок 2.3.8.

Спектры обоих каналов регистрируются одним и тем же приемным каналом, позиция 7 – 11 рисунок 3.3.7, что исключает плавание сигналов относительно друг друга вследствие температурной, временной и пр. нестабильности параметров системы регистрации. Пример регистрируемого спектра с обоих каналов приведен на рисунке 3.3.9.

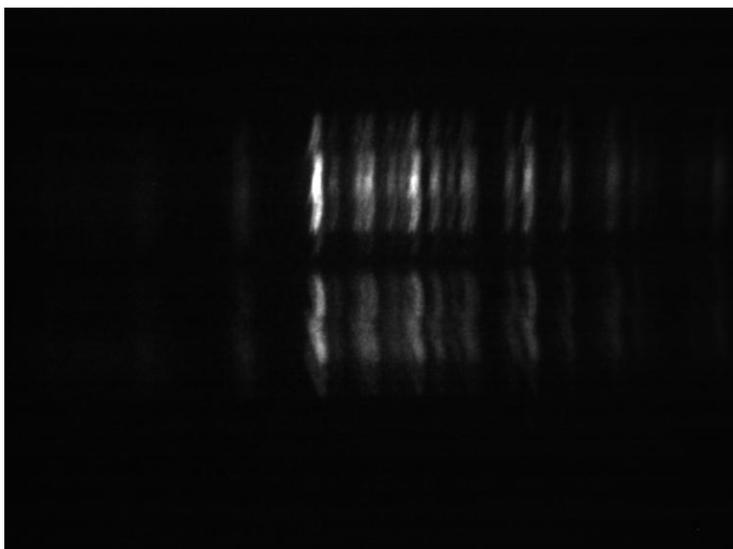
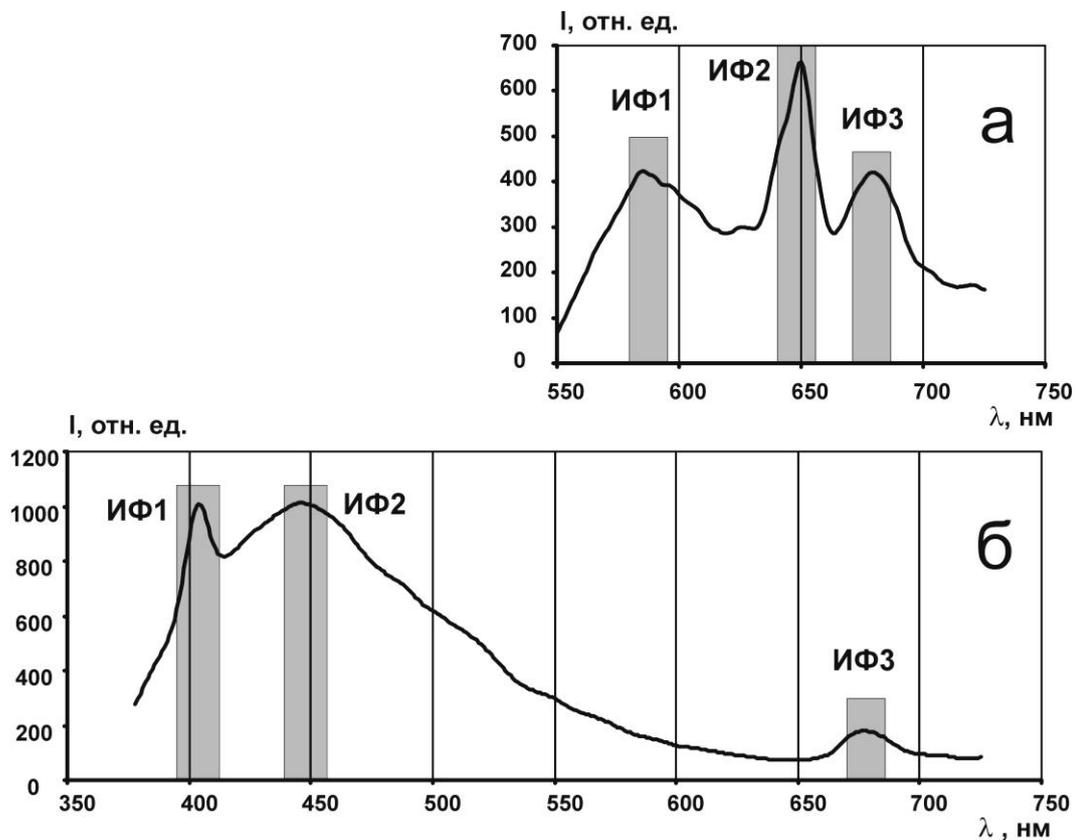


Рисунок 3.3.9 Изображение спектра неоновой лампы на ПЗС-камере.

Применение

ДЛФ создавался для исследования содержащихся в воде пигментов фитопланктона и растворённого органического вещества (РОВ) по спектрам лазерно-индуцированной флуоресценции (ЛИФ) воды в диапазоне от 380 до 760 нм, рисунок 3.3.10. 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 хлорофилл А в этой области поглощает слабо. При таком возбуждении основной вклад в его флуоресценцию вносят живые клетки фитопланктона, линия ИФ3 рисунок 3.3.10а. Близкое расположения линии комбинационного рассеяния (КР) воды, линия ИФ2 рисунок 3.3.10а, 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.



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

б - при возбуждении третьей гармоникой 355 нм

Рисунок 3.3.10 ЛИФ спектры морской воды.

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 ИФ1 рисунок 3.3.10 обусловлен оптическими свойствами фильтра, позиция 5 рисунок 3.3.10.

Третья гармоника 355 нм возбуждает флуоресценцию пигментов фитопланктона менее эффективно, но ширина спектра значительно шире, Рисунок 3.3.10. 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.

Флуоресценцию РОВ третья гармоника 355 нм возбуждает значительно эффективней. При возбуждении ультрафиолетовым излучением регистрируется флуоресценция РОВ, обусловленного как природными явлениями (течения, пылевые бури, терригенные выносы и т.п.), так и антропогенным влиянием. Для некоторых углеводов (топлив, масел) возможна их идентификация по характерным широкополосным линиям спектра.

Использование информации поступающей одновременно с обоих каналов ДЛФ позволяет повысить достоверность и качество исследований фитопланктонных сообществ и окружающей их среды, а так же расширить круг решаемых задач контроля антропогенного воздействия на среду и климат.

Испытана погружаемая световодная приставка для лазерного флуориметра, проведено 24 погружения одновременно с зондом SBE-19 plus. На рис.3.3.11 приведен пример профилей концентрации и интенсивности флуоресценции хлорофилла «а» (рис.3.3.11а) и РОВ (рис. 3.3.11б). Значения датчиков WetLabs и лазерного флуориметра приведены к одной шкале глубин. При рассмотрении результатов сравнения стоит иметь в виду, что погружения выполнялись хоть и одновременно, но на некотором расстоянии друг от друга на разных погружаемых установках.

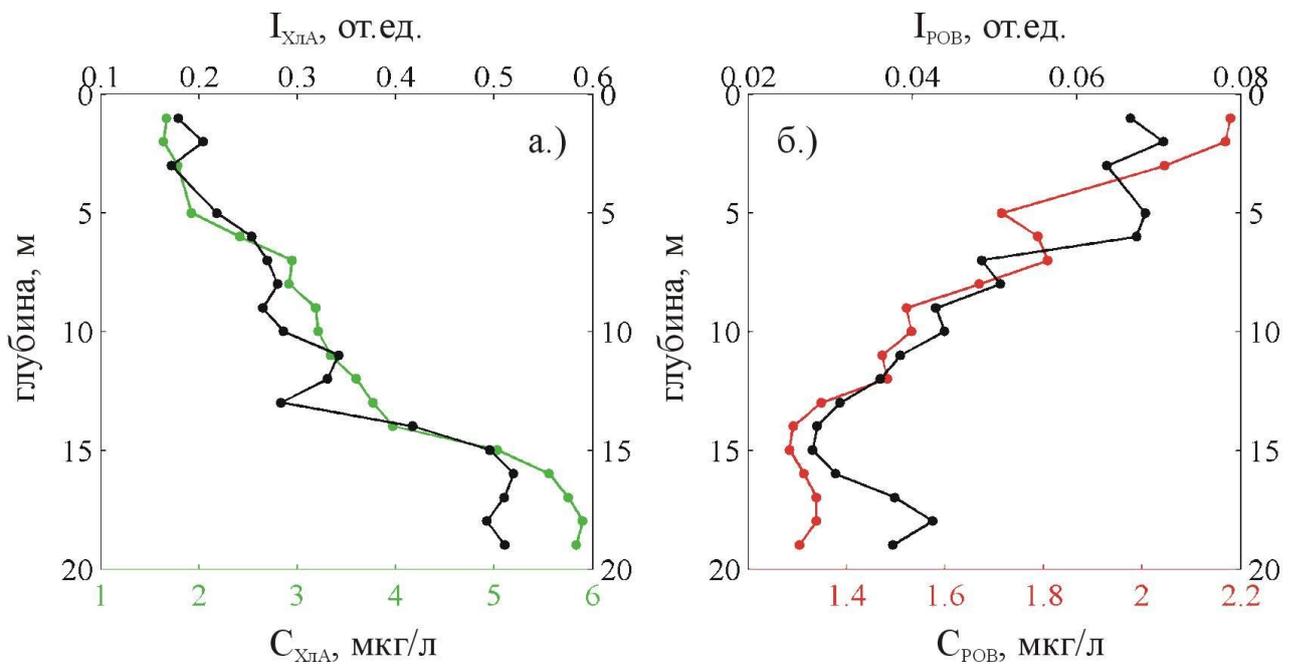


Рисунок 3.3.11. а.) Глубинные профили концентрации (зеленая линия) и интенсивности флуоресценции (черная линия) хлорофилла «а», полученные датчиком WetLabs и лазерным флуориметром. б.) тоже для растворенного органического вещества, где красная линия обозначает данные WetLabs.

Результаты сравнительного анализа между значениями $I_{РОВ}$ и $C_{РОВ}$ со всех глубин представлены на рис.3.3.12. На рис.3.3.12а. дана диаграмма рассеяния $I_{РОВ}$ и $C_{РОВ}$, на рис.14б приведена зависимость отношения $C_{РОВ}$ и $I_{РОВ}$ от освещенности PAR.

Коэффициент корреляции между $I_{РОВ}$ и $C_{РОВ}$ составил 0.6, а калибровочная кривая имеет следующий вид:

$$C_{ХлА} = (5.9 \pm 0.3) \cdot I_{ХлА}, R^2 = 0.28$$

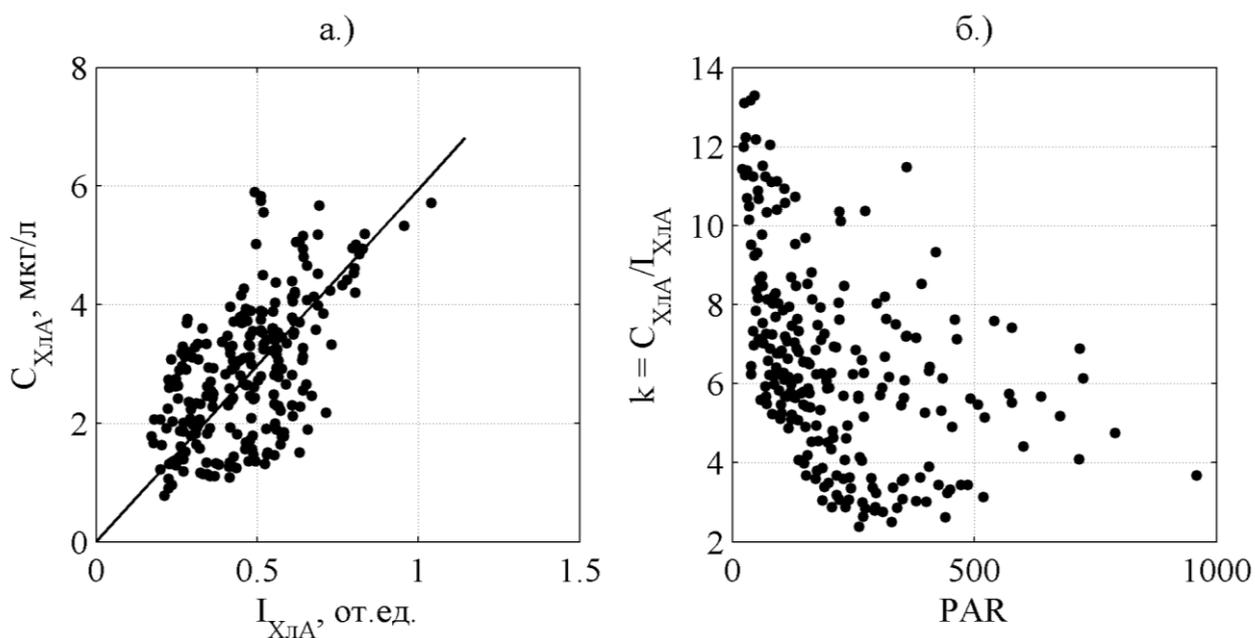


Рисунок 3.3.12. Сравнение интенсивности флуоресценции хлорофилла «а» (ДЛФ с погружаемой приставкой) и концентрации хлорофилла «а» (WetStar)

Результаты измерений содержания РОВ в морской воде показаны на рис.3.3.13. На диаграмме рассеяния $C_{РОВ}$ – $I_{РОВ}$ линейная зависимость наблюдается только для красных точек, относящихся к водам около о. Русский. Как и в случае на рис.3.3.12 точки, полученные в водах вне залива Петра Великого, образуют отдельный кластер, но здесь не наблюдается линейной зависимости, что возможно связано с недостаточной статистикой наблюдений и бóльшим расстоянием между погружаемыми зондами (что вызвано конструктивными особенностями судна, на котором проводилась вторая экспедиция).

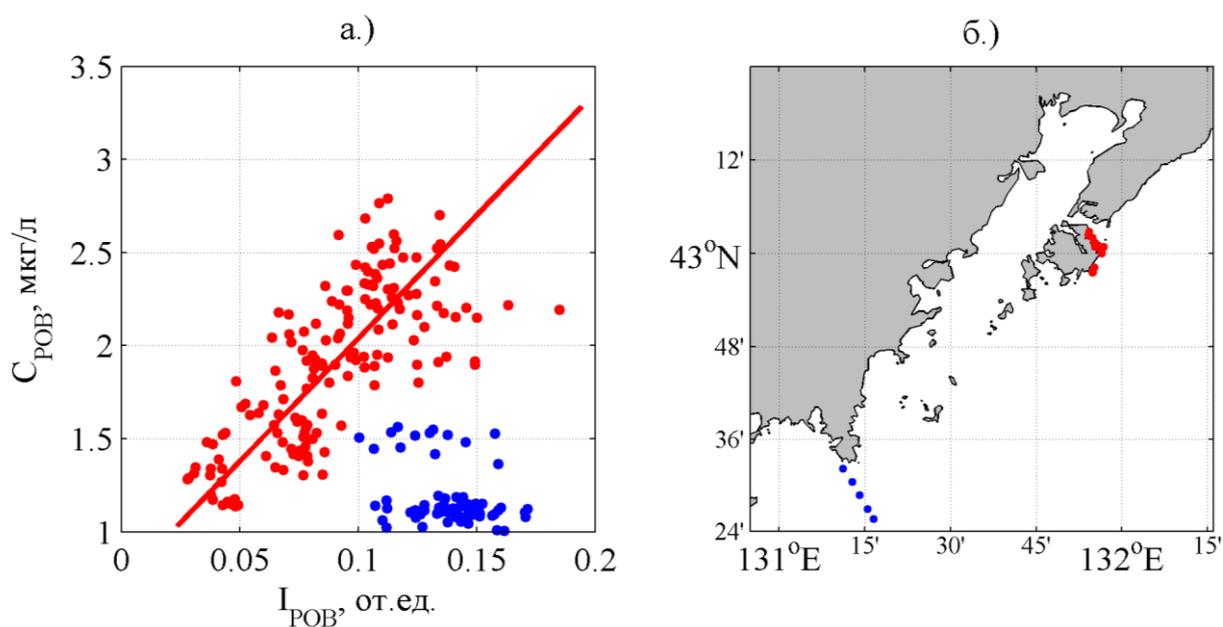


Рисунок 3.3.13. Сравнение интенсивности флуоресценции растворенного органического вещества (ДЛФ с погружаемой приставкой) и концентрации растворенного органического вещества (WetStar)

Линейная ортогональная регрессия между C_{POB} и I_{POB} имеет следующий вид:

$$C_{POB} = (13.2 \pm 0.8) \cdot I_{POB} + (0.72 \pm 0.07), R = 0.74$$

Небольшая разница в коэффициентах также говорит о том, что в случае возбуждения флуоресценции POB, изменение интенсивности возбуждающего излучения не сильно сказалась на выходе флуоресценции POB.

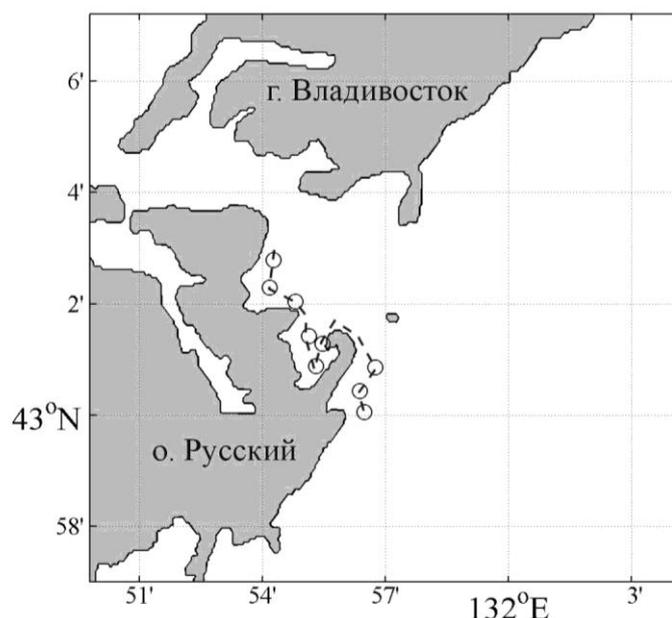


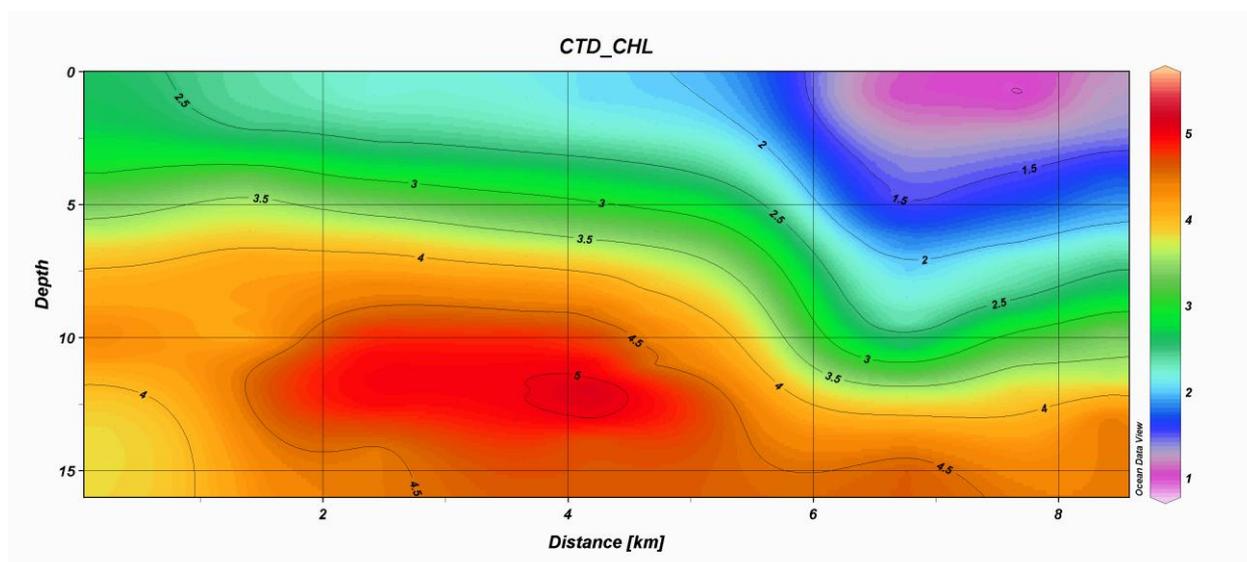
Рисунок 3.3.14. Маршрут станций измерений по глубине, где были проведены синхронные измерения зондом SBE-19plus и лазерным флуориметром ДЛФ с погружаемой насадкой. Данные вдоль маршрута использованы для построения рис. 3.3.15 и 3.3.16.

Основное преимущество измерений, проводимых по глубине, это возможность наблюдать распределение концентрации хлорофилла «а» и РОВ в толще воды, что дает более полное представление о процессах фотосинтеза и воспроизводства органического вещества в океане.

На рис. 3.3.15 и 3.3.16 представлены результаты измерений по глубине содержания концентрации хлорофилла «а» и РОВ, соответственно, вдоль маршрута показанного на рис.3.3.14. Измерения выполнены погружаемым зондом SBE-19plus (рис.3.3.15а и рис.3.3.16а) и лазерным флуориметром с погружаемой световодной приставкой.

На рис. 3.3.15 и 3.3.16 видно, что основные наблюдаемые структуры совпадают, кроме измерений РОВ на глубинах от 8 до 16 м в течение первых 3-х километров маршрута (см. рис.3.3.16). Это может быть связано с тем, что несовпадающий участок относится к бухте Аякс, испытывающей значительное антропогенное воздействие и таким образом на дне могут присутствовать формы РОВ, регистрируемые при возбуждении УФ излучением и пропускаемые при использовании зеленого излучения.

a.)



б.)

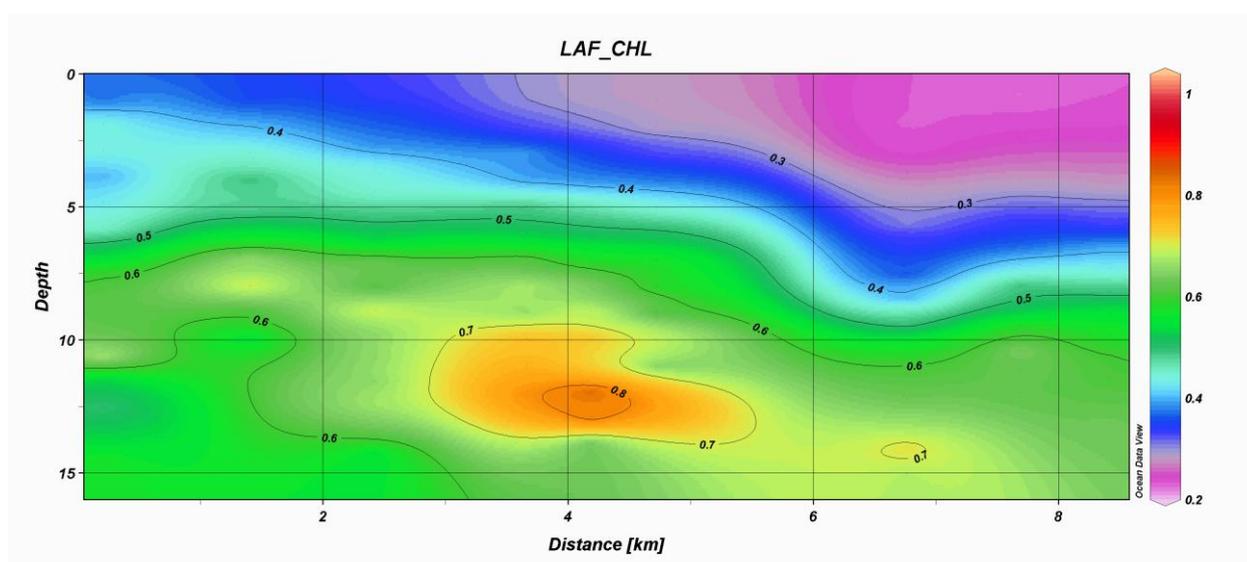
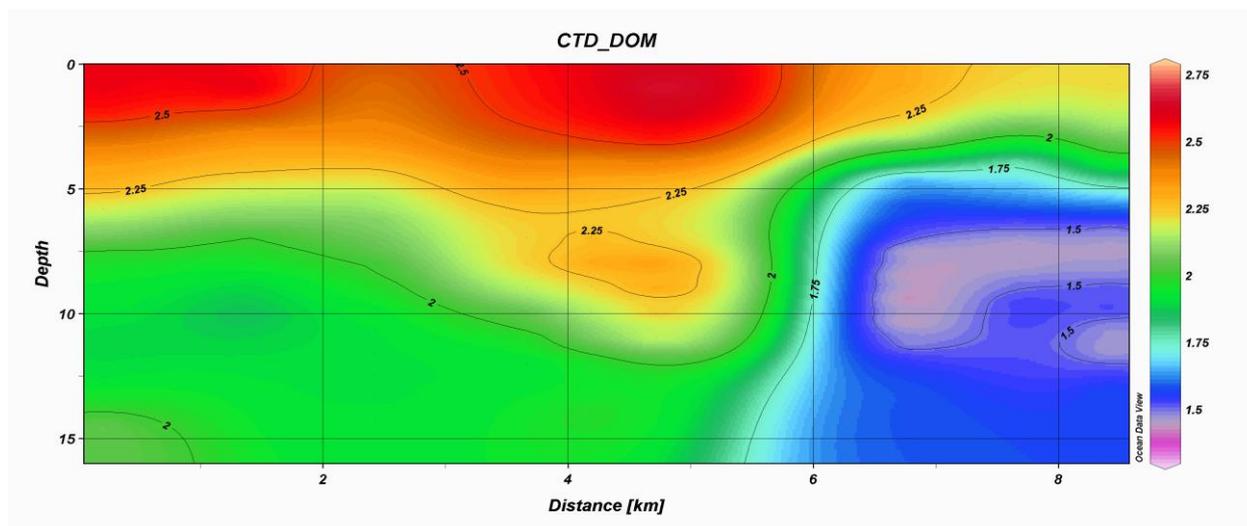


Рисунок 3.3.15. Глубинные измерения концентрации хлорофилла «а» (а, зонд SBE-19plus) и интенсивности флуоресценции хлорофилла «а» (б, ДЛФ с погружаемой световодной приставкой)

Основное преимущество использования световодной погружаемой приставки – это возможность использования возможностей сложных оптических методов при измерениях по глубине. Кроме измерений спектров флуоресценции морской воды в широком спектральном диапазоне – это возможность использования оптических методов для определения

эффективности фотосинтетической системы клеток фитопланктона, скорости электронного транспорта в реакции фотосинтеза, элементного состава морской воды и т.п.

а.)



б.)

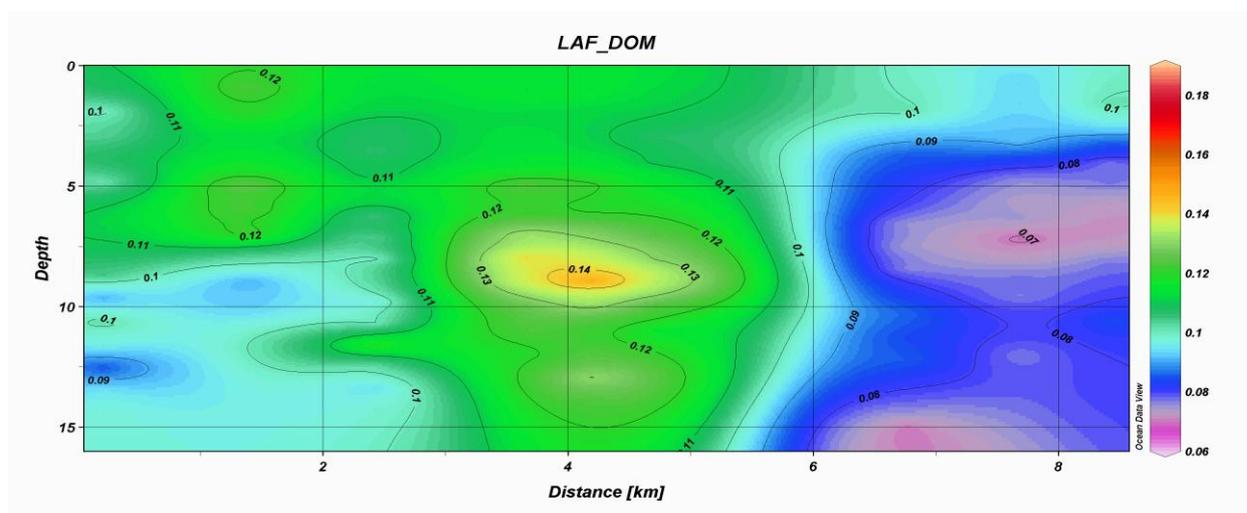
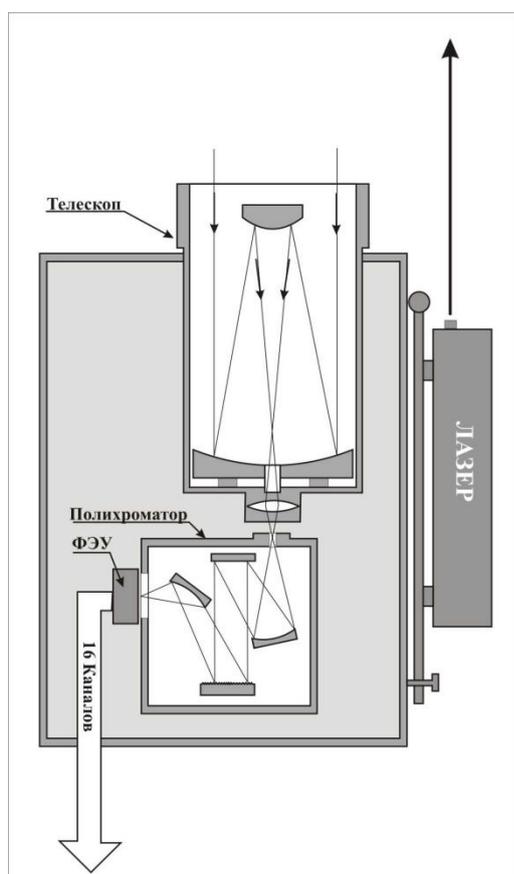


Рисунок 3.3.16. Глубинные измерения концентрации РОВ (а, зонд SBE-19plus) и интенсивности флуоресценции РОВ (б, ДЛФ-3 с погружаемой световодной приставкой).

Двухчастотный флуоресцентный лидар

Разработанный в рамках контракта флуоресцентный лидар является универсальным средством мониторинга органических соединений в поверхностном слое океана. Его мобильное исполнение и двухчастотная схема возбуждения флуоресценции позволяет производить измерения спектральной плотности флуоресценции от клеток фитопланктона (подобно рассмотренному выше лазерному флуориметру), РОВ, органических пленок и эмульгированных нефтепродуктов непосредственно с борта судна. По этой причине флуоресцентный лидар может использоваться в качестве одного из уровней контроля загрязнений морских акваторий органическими веществами и, в частности, нефтепродуктами.

а



б



Рисунок 3.3.17 а - Блок-схема флуоресцентного лидара; б – фотография лидара.

Блок- схема и фотграфия флуоресцентного лидара приведены на рисунке 3.3.16.

Лидар выполнен в мобильном исполнении по бистатической схеме (бистатическая база – 200 мм.). Он состоит из излучателя – NdYAG лазера, излучающего на 2 и 3 гармониках (532 и 355 нм.) и блока регистрации, состоящего из телескопа и спектрометра. В качестве регистратора спектра использован 16 канальный ФЭУ, производства Хамаматсу (Япония).

Блок цифровой обработки информации состоит из 8 канального аналого-цифрового преобразователя SHM-180 фирмы GMBH (Германия). Технические характеристики лидара приведены в таблице 3.3.1

Таблица 3.3.1

Технические характеристики флуоресцентного лидара.

Излучатель	NdYAG лазер Длины волн возбуждения: $\lambda_1=532$ нм (30 мДж) $\lambda_2=355$ нм (18 мДж)
Телескоп	Кассегрен 300 мм.
Фотоприемник	16 канальный ФЭУ (аналоговый режим)
Спектральное разрешение	18 нм./канал в диапазоне длин волн 400 – 700 нм.

Для оценки спектральной чувствительности и расчета передаточной характеристики блока регистрации флуоресцентного лидара использовалась калибровочная лампа LS-1-CAL Lamp Calibration с известной спектральной плотностью излучения. Форма спектральной передаточной функции приведена на рисунке 3.3.18

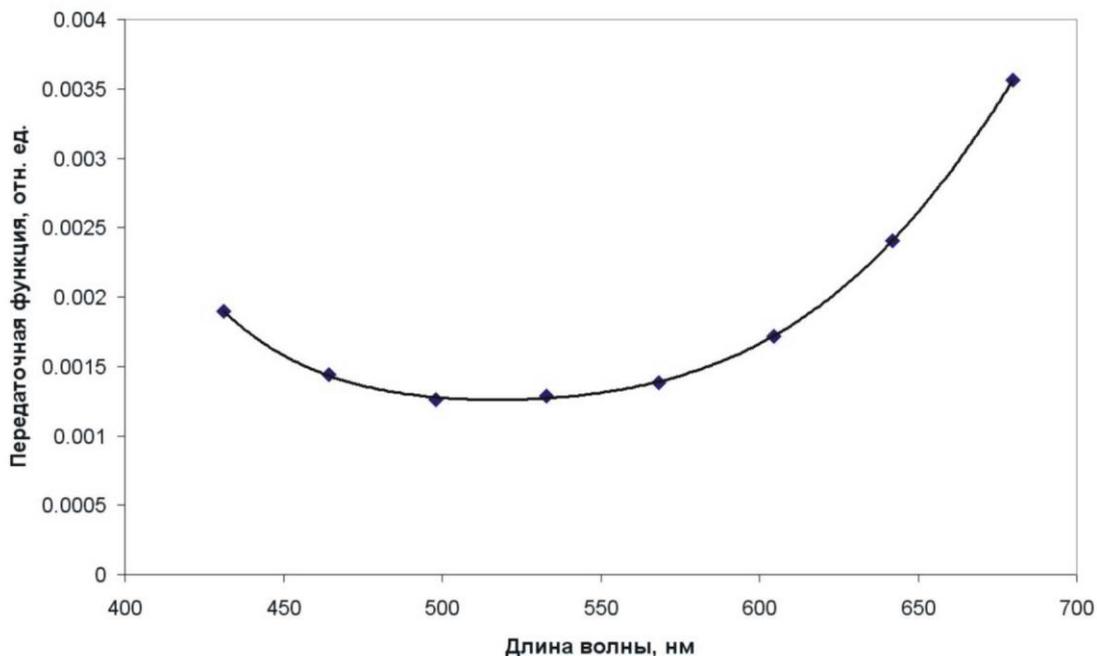


Рисунок 3.3.18 Передаточная функция блока регистрации флуоресцентного лидара

Первые испытания флуоресцентного лидара проведены с 7 этажа (~21 м) здания института Биологии моря ДВО РАН. Расстояние до морской поверхности составляло 150 м. (рассчитано по времени задержки регистрации сигнала обратного рассеяния по отношению к зондирующему импульсу).

На рисунке 3.3.19 приведен сигнал флуоресценции морской воды при зондировании ультрафиолетовым излучением ($\lambda=355$ нм). На интервале длин волн 420 – 650 нм наблюдается широкая полоса флуоресценции растворенного органического вещества (РОВ).

На рисунке 2.3.20 приведен спектр сигнала обратного рассеяния морской водой при длине волны зондирования $\lambda=532$ нм.

Как правило, лидарное зондирование нефтяных загрязнений проводится ультрафиолетовым излучением, более эффективным для возбуждения флуоресценции органических соединений. Для измерения концентрации хлорофилла «а» используется излучение 532 нм. Этому благоприятствует то обстоятельство, что вблизи относительно широкой линии флуоресценции

хлорофилла «а» с максимумом на длине волны 680 нм находится линия комбинационного рассеяния молекулами воды ($\lambda=640$ нм), которая служит в качестве нормировочного сигнала в алгоритме восстановления концентрации C_{1a} .

Сравнение спектров флуоресценции при возбуждении ультрафиолетовым и сине-зеленым излучением показывает, что:

1. Возбуждение длиной волны 355 нм не эффективно для измерения концентрации хлорофилла «а». На спектральной кривой флуоресценции спектральный пик в области 680 нм, практически, отсутствует или его величина находится на уровне шума регистрирующей аппаратуры.
2. Значения интенсивностей флуоресценции в области длин волн комбинационного рассеяния молекулами воды и флуоресценции хлорофилла «а» при возбуждении «комбинированным» импульсом ($\lambda=532$ нм и $\lambda=355$ нм) и одночастотным ($\lambda=355$ нм) близки. Их различие на уровне 10 % позволяет использовать «комбинированный» импульс для регистрации сигналов КР воды и флуоресценции хлорофилла «а» для дальнейшего расчета концентрации хлорофилла «а».

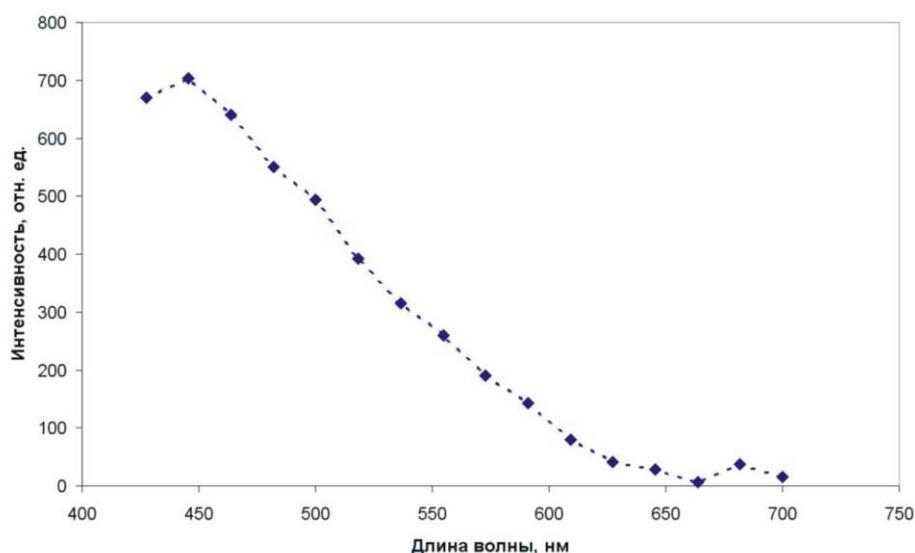


Рисунок 3.3.19 Спектр флуоресценции морской воды при зондировании лазерным импульсом $\lambda=355$ нм.

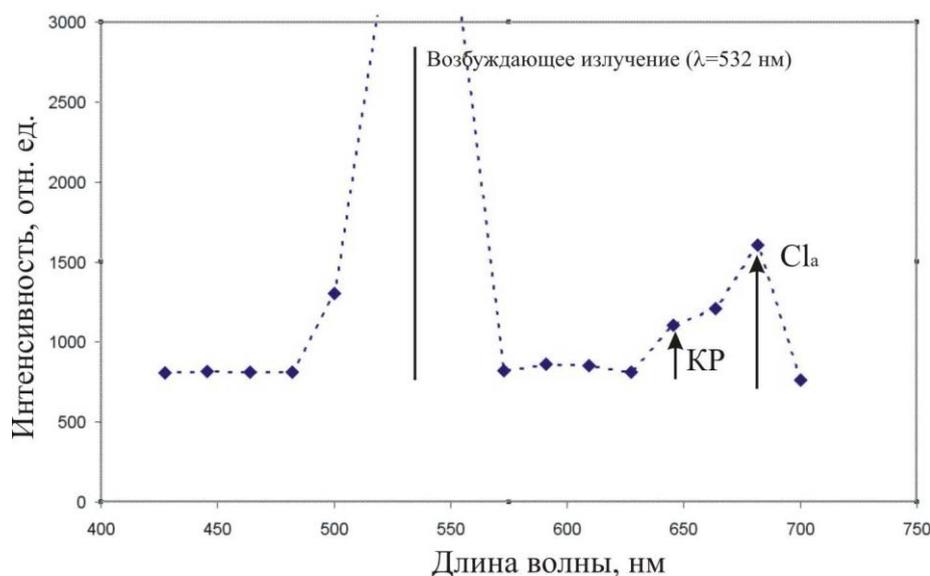


Рисунок 3.3.20 Спектр флуоресценции морской воды при зондировании лазерным импульсом $\lambda=532$ нм.

Ниже на рисунке 3.3.15 приведена динамика изменения концентрации хлорофилла «а», отраженная в спектральной изменчивости интенсивности линии флуоресценции хлорофилла «а» по отношению к интенсивности линии комбинационного рассеяния с максимумом на длине волны 640 нм.

Из рисунка 3.3.21 видно, что при одинаковом поведении флуоресценции РОВ в области длин волн 570-620 нм, при малых значениях хлорофилла «а» (28.06.2010) в области 700 нм сигнал флуоресценции РОВ падает, практически, до нуля. Это означает, что при интерполяции РОВ в области 630 нм. можно использовать прямую, задаваемую точками: $I_f(627 \text{ нм}), I_f(730 \text{ нм})=0$.

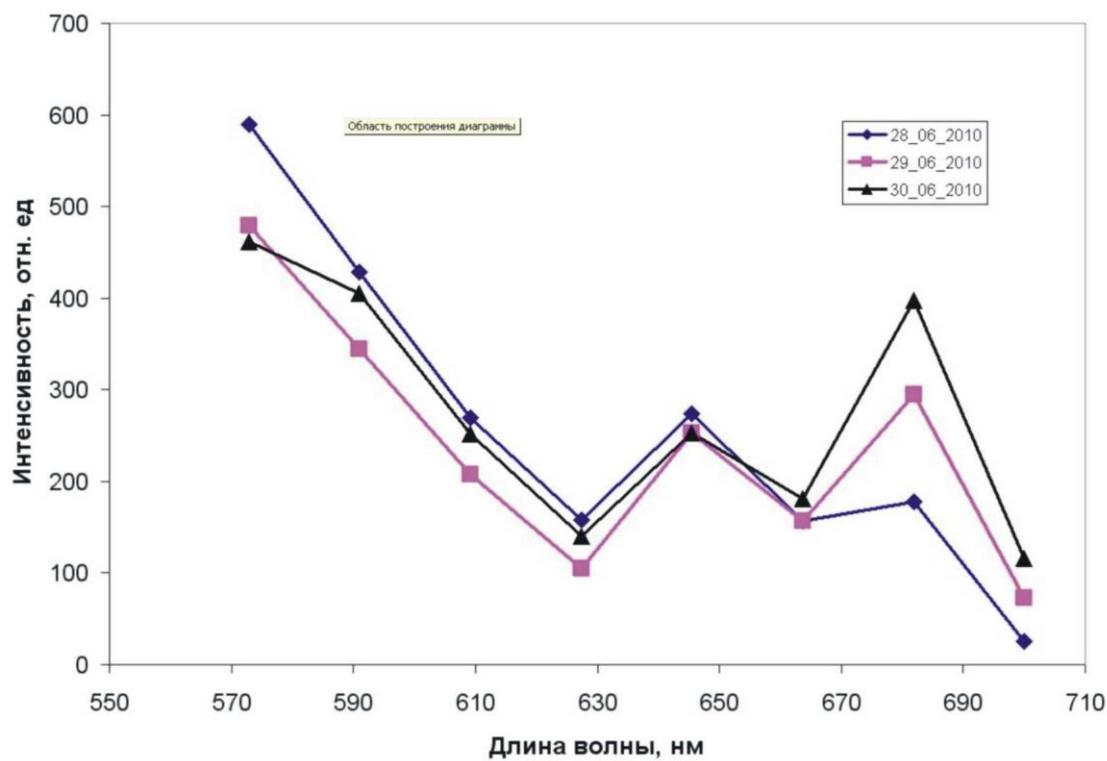


Рисунок 3.3.21 Динамика изменения хлорофилла «а».

3.4 Автоматизированный комплекс инструментальных средств дистанционного оптического мониторинга загрязнения морских поверхностей.

Одной из актуальных проблем прибрежных индустриальных регионов является проблема борьбы с загрязнением прилегающих акваторий. В настоящее время разработано множество дистанционных методов обнаружения на поверхности воды загрязняющих веществ, в число которых входят бытовой мусор, нефтяные пленки и фекальные воды, сбрасываемые судами. Преимущество дистанционных методов проявляется в оперативности регистрации факта загрязнения, определения его размеров и координат еще на ранней стадии распространения, когда издержки на ликвидацию последствий могут быть сведены к минимуму. По истечении времени после того, как загрязняющее вещество попало в морскую воду, происходит трансформация его физико-химических свойств, что приводит к увеличению трудозатрат на очистку морской акватории. Бытовой мусор притапливается и становится трудноразличимым на морской поверхности. Нефтяная пленка, меняя свою толщину, распространяется на значительные площади морской акватории. По истечению нескольких суток пребывания в морской воде часть нефтепродуктов (до 30%) эмульгирует, образуя тяжелые оседающие агрегаты, часть – растворяется (до 5%) и только около 15% остается в мономолекулярном пленочном виде.[35] Претерпевает изменение и форма пленочного пятна. С появлением даже слабого ветра и течения пленка нефтепродуктов (НП) разрывается на отдельные пятна, которые быстро вытягиваются, приобретая продолговатые формы. По мере усиления ветра или течения длина этих полос увеличивается, а ширина уменьшается.

Большинство дистанционных методов обнаружения различного рода загрязнений основано на обнаружении контраста между чистой и загрязненной морской поверхностью в видимом, инфракрасном и тепловом диапазоне длин волн. В оптическом видимом диапазоне длин волн эффективным средством

оперативного контроля небольших водоемов может служить видеосистема регистрации распространения сликов (областей морской поверхности с отсутствием мелкомасштабного волнения, «выглаженных» областей) на морской поверхности и обнаружения объектов – источников сликовых образований.

В основе физических процессов, позволяющих в видимом диапазоне длин волн проводить регистрацию органических пленок на морской поверхности, лежит явление «выглаживания» морской поверхности за счет изменения коэффициента натяжения органическими пленками и гашения ими мелкомасштабной ветровой ряби. Длины волн, на которые оказывает сглаживающее влияние нефть, изменяются от 1,5 до 70 см. [36]

Изображение морской поверхности в современных цифровых видеосистемах состоит из матрицы пикселей. Каждый пиксель изображения несет информацию о цвете и яркости элемента морской поверхности. На цвет и яркость элемента морской поверхности оказывают влияние две компоненты – диффузно-рассеянное морской толщей солнечное излучение и зеркально отраженное элементарной площадкой морской поверхности излучение неба. Вклад этих компонентов в цвет и яркость пикселя изображения зависит от наклона элемента морской поверхности по отношению к углу визирования. «Выглаживание» морской поверхности органическими пленками приводит к уменьшению видимых уклонов морской поверхности и увеличению доли «зеркальной» составляющей яркости и цвета морской поверхности, что вызывает цветовой и яркостной контраст покрытых пленкой областей по отношению к чистой морской поверхности. Дополнительно цветовой и яркостной контраст «загрязненной» и «чистой» поверхности усиливается светоотражающими и поглощательными свойствами самой органической пленки. Так, например, в случае тонких нефтяных пленок в месте их нахождения могут появляться цвета побежалости, объясняемые интерференционными эффектами внутри самой пленки.

Таким образом, цветовой и яркостной контраст связанных областей пикселей изображения морской поверхности может служить одним из идентификационных признаков возможного наличия органических пленок на морской поверхности. Следует особенно подчеркнуть, что наличие слика на морской поверхности – всего лишь один из признаков присутствия органической пленки антропогенного происхождения, поскольку природа образования сликов более многообразна. Гашение мелкомасштабного морского волнения может быть вызвано рядом причин: поверхностно-активными веществами природного происхождения; поверхностным проявлением внутренних волн; атмосферной циркуляцией; зоной распреснения морских вод прибрежными стоками, градиентами потоков водных масс [37]

Однако наблюдение за динамикой сликового образования в режиме мониторинга позволяет в большинстве случаев либо определить источник загрязнения по связи слика с конкретным объектом (например, судно, оставляющее за собой след в виде слика), либо идентифицировать природу слика по эволюции его формы с учетом течений и характеристик ветра.

При анализе пятен загрязняющих веществ и НП необходимо определить:

- Границы зоны их распределения;
- Формы и размеры пятен нефтепродуктов;
- Густоту пятен (степень покрытия пятнами водной поверхности);
- Границы зон с различной густотой пятен;
- Скорость распространения пятен;
- Направление распространения пятен

[37]

В рамках выполнения задач проекта была разработана аппаратура двухуровневой системы контроля загрязнений небольших по площади морских акваторий таких, как морские порты и бухты. В задачу первого уровня контроля входит определение площадей вероятного загрязнения органическими

пленками антропогенного происхождения такими, как фекальные воды и нефтепродукты. В задачу второго уровня контроля входит определение типа веществ, образующих пленку на морской поверхности.

В качестве аппаратуры первого уровня разработана сканирующая по азимутальному углу видеосистема, способная в реальном масштабе времени формировать времяупорядоченную серию панорам морской поверхности.

В качестве аппаратуры второго уровня контроля разработан флуоресцентный лидар, описание которого приведено в предыдущем разделе 3.3.

Видеосистема представляет из себя безкорпусную видеокамеру в термостабилизированном защитном корпусе (рисунок 3.4.1), установленном на оси шагового двигателя. Угол поворота камеры при формировании отдельных кадров и количество кадров, определяющее угловые размеры панорамы, задаются в качестве входных параметров программы управления камерой. В конструкции видеосистемы предусмотрены юстировочные узлы для установки оси шагового двигателя в вертикальное положение и позиционирования матрицы камеры - такое, чтобы горизонтальные стороны видеоматрицы лежали в плоскости вращения шагового двигателя. Применение шагового двигателя позволяет использовать метод дискретного углового позиционирования видеосистемы, при котором каждый кадр панорамы захватывается при однозначно-определенном угле визирования. Преимущества такого метода проявляются как при формировании общей панорамы из составляющих ее кадров, так и в процедуре «привязки» изображения к географическим координатам.

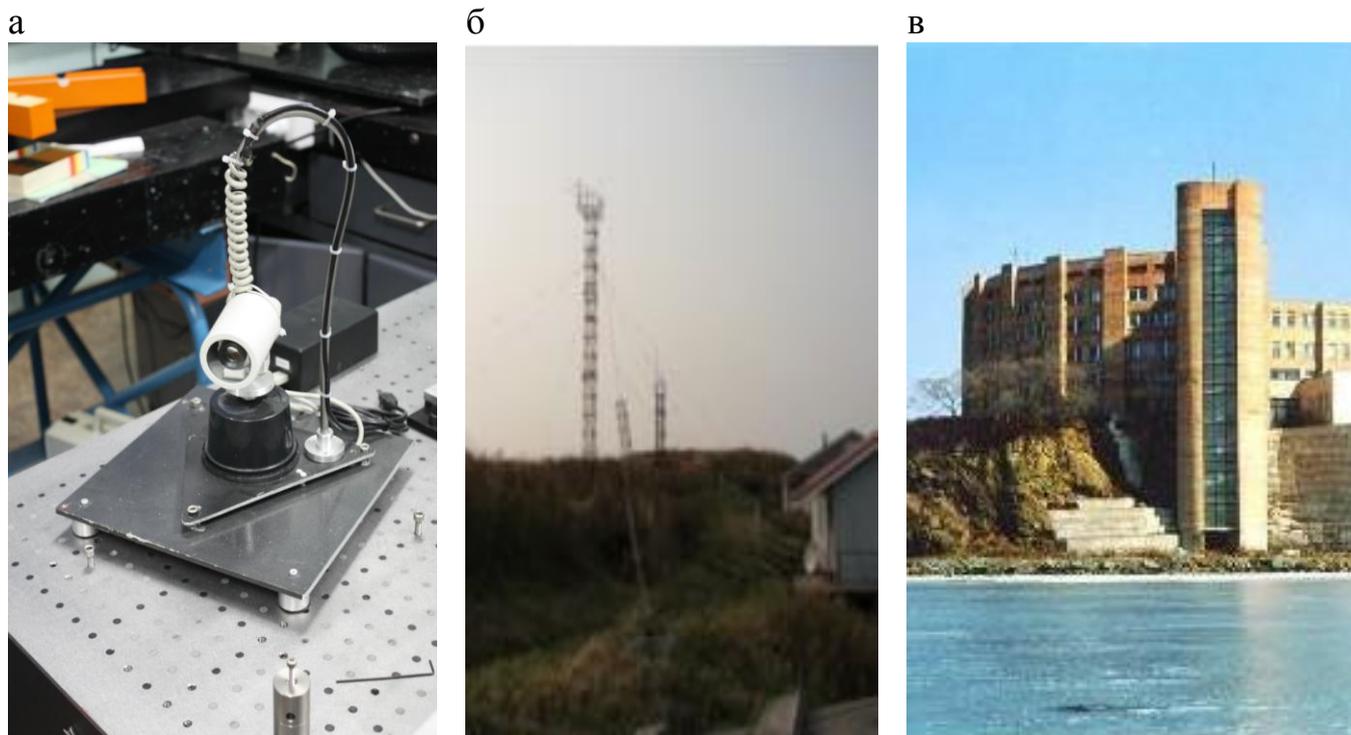


Рисунок 3.4.1 Фотография видеосистемы –а; ее расположение на экспериментальной базе ТОИ в бухте «Витязь» (высота расположения 92 м над уровнем моря) - б и в здании Института биологии моря на берегу Амурского залива (высота расположения – 42 м над у.м) - в.

Технические характеристики видеосистемы приведены в таблице 3.4.1

Таблица 3.4.1

Технические характеристики видеосистемы

Угол поля зрения в вертикальной плоскости	9 ⁰
Угол поля зрения в единичном кадре панорамы в горизонтальной плоскости	7.2 ⁰
Угловой шаг сканирования	7.2 ⁰
Высота расположения над уровнем моря	92 м.
Расстояние до кромки моря	500м.
Ориентация поляризатора-анализатора	P
Время формирования одной панорамы (120 ⁰), с	9

Результирующее панорамное изображение представляет из себя матрицу пикселей, значение которых отражает яркость элемента отображаемого объекта, а расположение пикселя в плоскости матрицы изображения однозначно характеризует угловые координаты этого элемента в системе отсчета, связанной с видеосистемой. При этом зенитный угол отсчитывается относительно оптической оси видеосистемы, а азимутальный угол – относительно одной из сторон матрицы. Если в каждый момент захвата изображения известна ориентация видеосистемы относительно географической системы координат и высота расположения камеры, то не представляет труда рассчитать матрицу перехода из одной системы в другую и «положить» изображение на плоскость, осуществив его привязку к географической системе координат. Однако для совершения такой операции дополнительно необходимо определить угловое разрешение видеосистемы, которое может быть рассчитано по известному размеру пикселя матрицы и фокусному расстоянию объектива. На практике удобнее пользоваться реперными точками на изображении береговой черты с известными координатами, которые оказываются полезными и для расчета ориентации видеосистемы. Поскольку система сканирования основана на методе дискретного позиционирования камеры (ДПК), который предполагает жесткую фиксацию камеры в определенном для каждого кадра панорамы положении, то матрица преобразования изображения рассчитывается один раз после монтажа системы. Такой подход позволяет экономить счетные ресурсы и получать привязанные к географическим координатам изображения объектов на морской поверхности в реальном масштабе времени. На рисунке 3.4.2а приведен пример панорамы бухты Витязь. Видеосистема располагалась на высоте 92 метра над уровнем моря в 450 метрах от береговой черты и в автоматическом режиме осуществляла обзор морской акватории в пределах сектора в 120° . На рисунке 3.4.1 б приведен результат преобразования панорамы с привязкой изображения морской акватории к географическим координатам. Полыми кружками обозначены реперные точки.

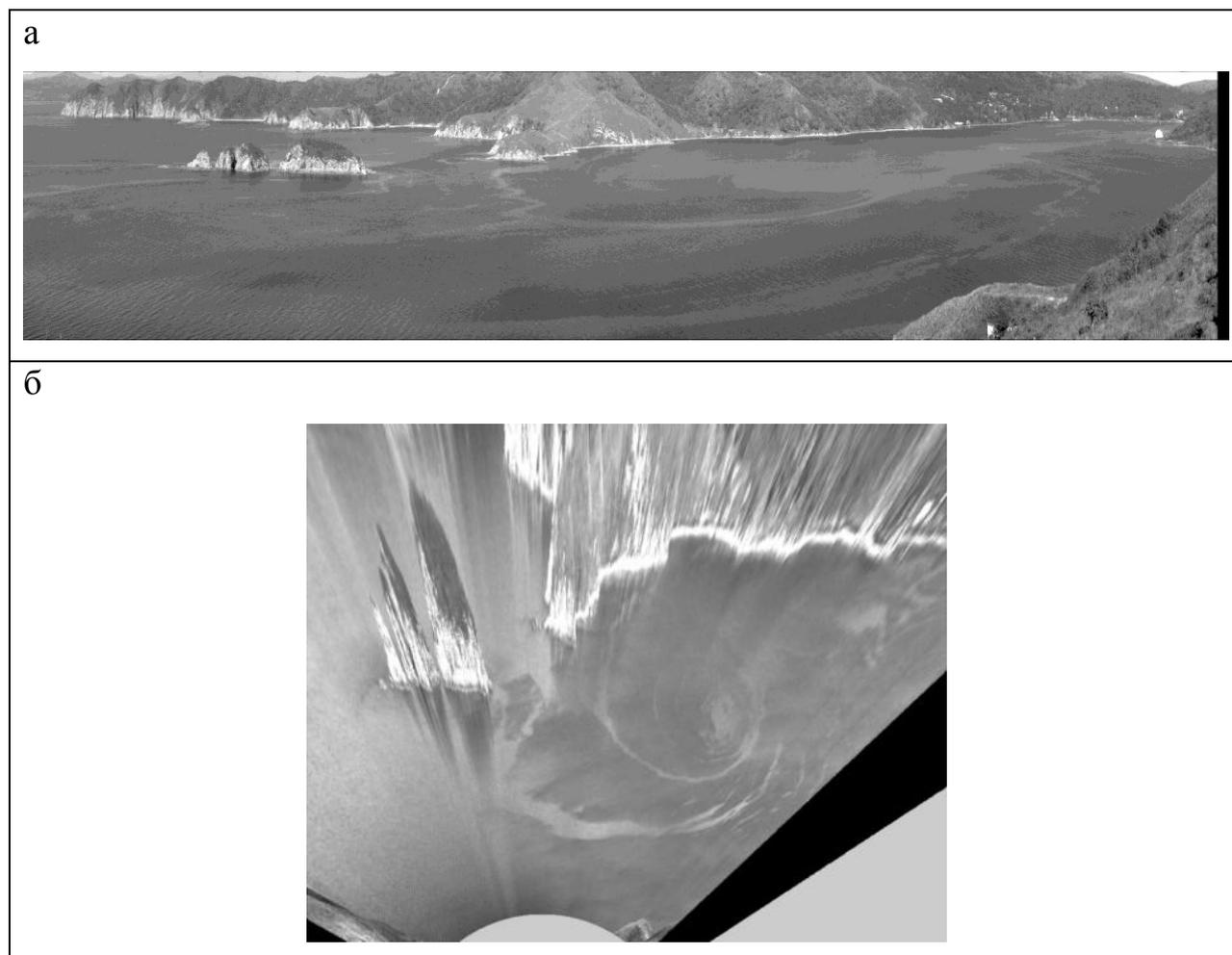


Рисунок 3.4.2 Стики на морской поверхности: а – панорама акватории бухты Витязь; б – результат обработки панорамы – вид бухты сверху.

На рисунке 3.4.2 благодаря сликовым полосам на морской поверхности отчетливо просматривается циклонический топографический вихрь. Считается, что в прибрежных районах с повышенной биологической активностью морских вод природа сликовых полос объясняется наличием на морской поверхности пленок поверхностно – активных веществ (ПАВ), выделяемых микроорганизмами и водорослями в процессе их жизнедеятельности. Пленки ПАВ обладают свойством избирательно гасить мелкомасштабное волнение, из-за чего на видео и фото снимках они просматриваются виде светлых полос.

Вовлекаясь в круговорот поверхностным течением, пленки ПАВ скапливаются в зонах конвергенции вихревых потоков, очерчивая структуру вихря.

Считается, что наиболее благоприятные условия для регистрации снимков реализуются при ориентации оптической оси камеры не менее 45° (угол визирования) относительно плоскости морской поверхности. При уменьшении угла визирования наблюдается ослабление контраста снимка относительно фоновой морской поверхности вплоть до полного его исчезновения вблизи горизонта.

Вполне естественно, что при решении задач мониторинга морских акваторий даже небольших бухт и морских портов регистрация снимков должна осуществляться при значительно меньших углах визирования. Мы провели несколько экспериментов регистрации снимков от искусственных пленок при разливе незначительного количества растительного оливкового масла, которое содержит в себе более 50% олеиновой кислоты, обычно используемой в натуральных экспериментах для имитации пленок ПАВ. В натуральных экспериментах решались несколько задач:

1. определение зависимости контраста пленка – фон (свободная от пленки морская поверхность) от угла визирования;
2. оценка скорости изменения площади пленки;
3. оценка влияния поверхностных течений и ветра на скорость перемещения пленки и трансформацию ее формы.

В эксперименте в бухте Витязь были проведены два разлива масла по 50 миллилитров в каждом на расстоянии от места расположения видеосистемы 750 и 1640 метров, что соответствует углам визирования 7 и 3 градусов, соответственно.

В амурском заливе подобные разливы были выполнены по 100 миллилитров масла на расстояниях 530 и 920, что соответствует углам визирования 4.5 и 2.6 градусов соответственно.

На рисунке 3.4.3 приведены панорамы морской поверхности со слайками от пленки растительного масла.

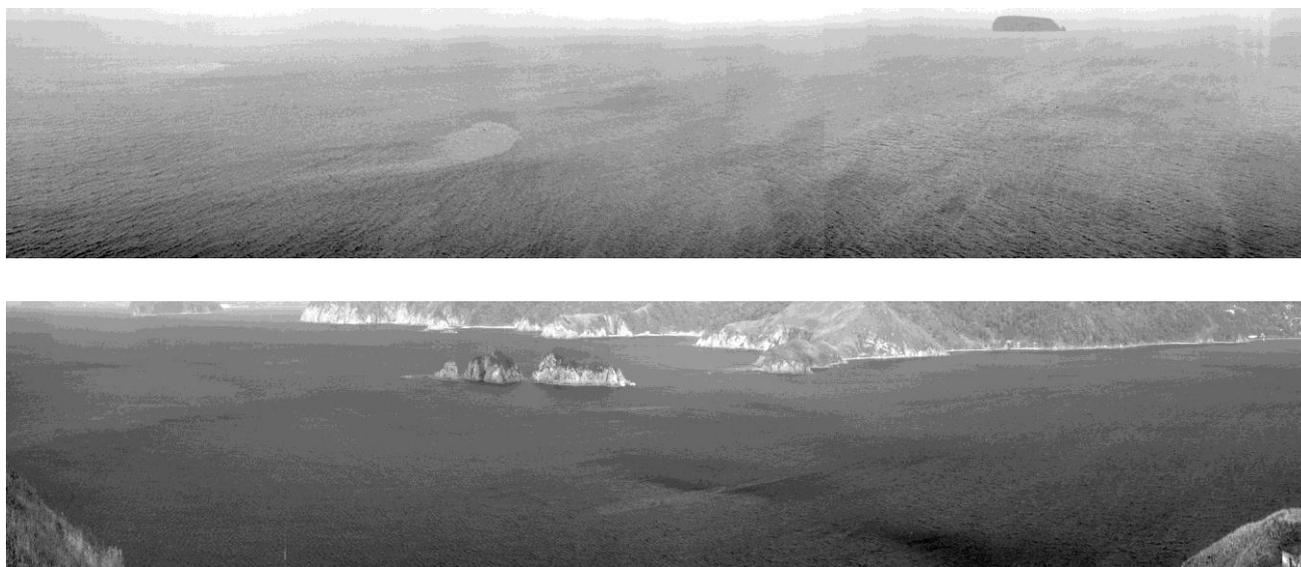


Рисунок 3.4.3 Панорамы акваторий Амурского залива (а) и бухты Витязь (б).

Определение яркостного контраста k между пленкой и фоном осуществлялось по формуле $k = \frac{I_s - I_w}{I_s + I_w}$, где I_s и I_w средние по ансамблю пикселей значения яркости в области слайка и в его окрестности – равной по площади слайка «чистой» водной поверхности, соответственно. В единичном измерении контраста k для выделения множества S - пикселей, принадлежащих слайку, средствами «Matlab» в интерактивном режиме на изображение слайка накладывалась маска. Применение к бинарному изображению маски ряда простейших морфологических операций увеличения площади (до ее удвоения) без изменения формы маски позволяет получить новую маску, определяющую множество $S+W$, где W – множество пикселей, принадлежащих фону. Для каждого из этих множеств производился расчет среднего значения яркости пикселей, которые и использовались для расчета контраста. Контраст между слайком, образованным масляной пленкой, и чистой водной поверхностью зависит не только от свойств масляной пленки, но и от состояния морской

поверхности, которое определяется в основном скоростью ветра. В экспериментах в бухте Витязь и Амурском заливе скорость ветра во время регистрации сликов была, практически, одинакова и составляла величины 6 и 7 м, соответственно. Из таблицы 3.4.2, где приведены величины яркостного контраста сликов при различных углах визирования видно, что при малых углах визирования контраст падает при уменьшении угла визирования со скоростью 1.2 %/градус. При сохранении этой тенденции значение нулевой величины контраста достигается при угле визирования 1.5°.

Результаты расчета яркостного контраста приведены в таблице 3.4.2.

Таблица 3.4.2

Зависимость контраста слик/фон от угла визирования

Место проведения эксперимента	Угол визирования (градусы)	Контраст (%)
Бухта Витязь	7	6,6±0,3
	4,2	3,4±0,2
Амурский залив	4.5	3.6
	2.6	1.2

Анализ время-упорядоченной последовательности изображений сликов ПАВ позволяет проследить эволюцию масляного пятна на морской поверхности и оценить скорости его перемещения и изменения площади. На рисунке 2.4.4 приведены изображения сликов на морской поверхности через интервал времени порядка 45 минут после разлива масла. Крестом обозначено место разлива, а треугольниками обозначены траектории движения передних фронтов сликов. Цифры над треугольниками указывают время в минутах после разлива.

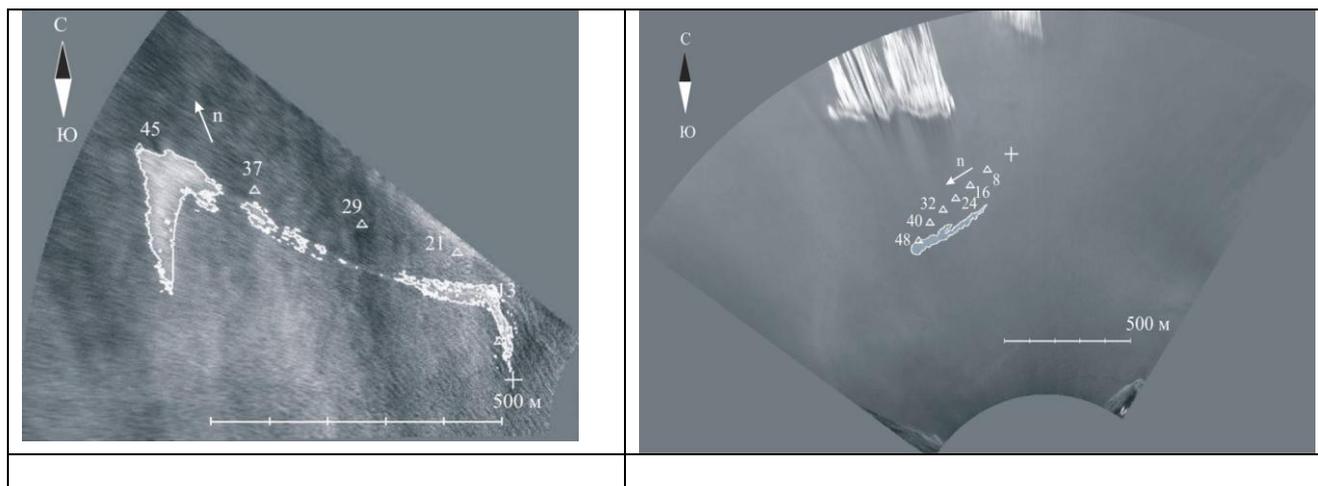


Рисунок 3.4.4 Изображения спутников на морской поверхности по истечении времени порядка 45 минут после разлива масла: а – 100 мг в Амурском заливе; б – 50 мг в бухте Витязь. *n* – единичный вектор направления ветра. Δ – местонахождение переднего фронта слика в момент времени, обозначенный цифрами над треугольником (в минутах после разлива).

На рисунке 3.4.5 приведены графики изменения площади слика во времени, а в таблице 3.4.3 приведены основные характеристики проведения эксперимента и параметры, характеризующие динамику сликовых образований.

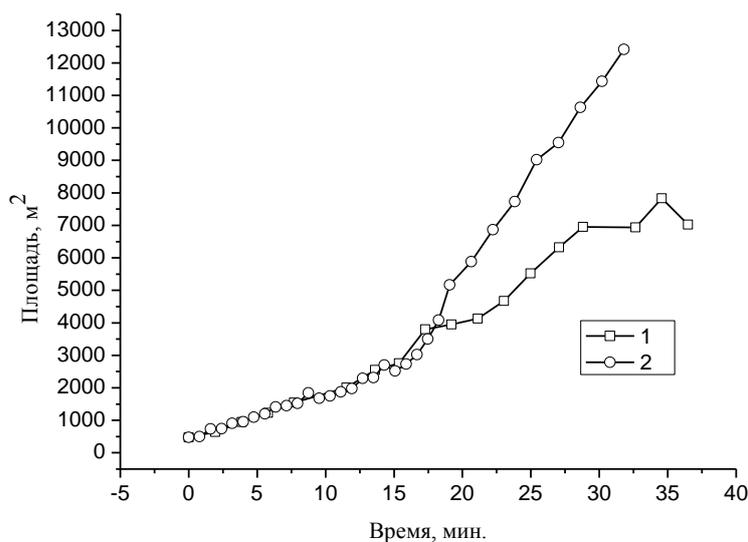


Рисунок 3.4.5 Динамика изменения площади пятна органической пленки. 1- Бухта Витязь; 2 – Амурский залив.

Таблица 3.4.3

Характеристики проведения эксперимента

	Амурский залив	Бухта Витязь
Угол визирования точки разлива (град)	6.5	3.2
Скорость ветра (м/с)	7	6
Угол ветра (град)	22	12 ⁰
Угол перемещения слика относительно направления ветра	37	18
Скорость изменения площади в первые 15 минут	2.25	2.4
Протяженность слика на 45 минуте (м)	758	350
Всего перемещение переднего фронта на 45 минуте (м)	758	500

Разработанная в рамках проекта видеосистема может служить в качестве первого уровня системы мониторинга загрязнений морской поверхности органическими пленками. Она позволяет обнаруживать слики, определять координаты сликов, прослеживать их динамику, оценивать скорость изменения площади. Второй уровень оперативного контроля, в задачу которого входит идентификация органических соединений в органической пленке, возложен на мобильный флуоресцентный лидар (раздел 3.3 настоящего отчета). Он способен на расстоянии до 100 м от судна уверенно зафиксировать спектр флуоресценции органического вещества, по которому при наличии базы данных эталонных спектров возможна идентификация органических соединений (например, типа нефтепродукта (см. отчет))

3.5. Алгоритмы спутникового мониторинга экологического состояния водоемов и атмосферы над ними

Контроль экологического состояния морских акваторий является одной из важных задач по обеспечению защиты окружающей среды. Те или иные примеси, попавшие в воду, меняют спектральные характеристики воды, что позволяет контролировать такие события различными приборами. В частности, измерения спектрорадиометрами характеристик излучения воды (в первую очередь коэффициентов поглощения и рассеяния) позволяют контролировать основные примеси, присутствующие в морской воде. Регулярный и фактически одномоментный обзор огромных акваторий возможен лишь на основе данных спутникового дистанционного зондирования.

Одним из лучших спутниковых радиометров является радиометр MODIS, размещенный на спутниках TERRA и AQUA. Он выполняет съемку поверхности одновременно в 36 спектральных каналах. Пространственное разрешение каналов лежит в диапазоне 250 – 1000м. Каждый радиометр обеспечивает ежедневный обзор всей поверхности Земли, что позволяет вести регулярный мониторинг морских акваторий. В Центре коллективного пользования регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН создано информационное обеспечение такого мониторинга. Оно базируется на проведении расчетов пакетом программ SeaDAS, что позволяет получать около двухсот параметров среды (воды и атмосферы над ней). В частности, оцениваются такие важнейшие экологические параметры воды как: мутность, концентрация хлорофилла-а, коэффициенты поглощения и рассеивания в 17 спектральных каналах, спектральные характеристики фитопланктона и растворенного органического вещества, температура поверхности воды, флуоресценция фитопланктона, оптические характеристики атмосферы (оптическую толщину и коэффициенты ангстрема), альbedo облачности и др. В пакете SeaDAS содержатся основные алгоритмы оценки

экологического состояния морей. Подробное описание алгоритмов приведено по адресу: http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/DOCS/MSL12/MSI12_prod.html .

Данные параметры позволяют обнаруживать такие экологические бедствия как: массовое цветение водорослей, получившее название “красные приливы” (причиняет большой вред морским экосистемам, так как обуславливают дефицит кислорода в воде, появление в ней сероводорода и аммиака и тем самым способствуют возникновению замора рыбы); вредоносное цветение водорослей, выделяющих токсины, которые могут накапливаться в телах рыб и моллюсков (особенно двустворчатых — устриц и мидий), что приводит к отравлениям и гибели людей и морских животных. Они позволяют оценивать общее состояние качества воды морской акватории, оценивать биопродуктивность различных районов, определять источники загрязнения на берегу, оценивать береговые выбросы загрязняющих веществ и распространение их по акватории. На рисунке 3.5.1 приведен пример карты флюоресценции фитопланктона залива Петра Великого, позволяющей обнаруживать источники примесей и распространение вод от таких источников по акватории.

Одним из наиболее проблемных заливов Дальнего востока России с точки зрения экологической обстановки является залив Петра Великого. Для его автоматического регулярного мониторинга по данным радиометров MODIS в режиме реального времени в спутниковом центре УСУ «ЛаМИ» ДВО РАН созданы средства автоматического приема, обработки и поставки упомянутых параметров воды заинтересованным службам и потребителям. В силу важности проблемы для Приморского края было принято решение проводить эти работы постоянно и открыть бесплатный доступ всем заинтересованным организациям и лицам. Данные можно получать через ftp или сайт Центра по адресам:

<ftp://ftp.satellite.dvo.ru/pub/modis;>

<http://www.satellite.dvo.ru>.

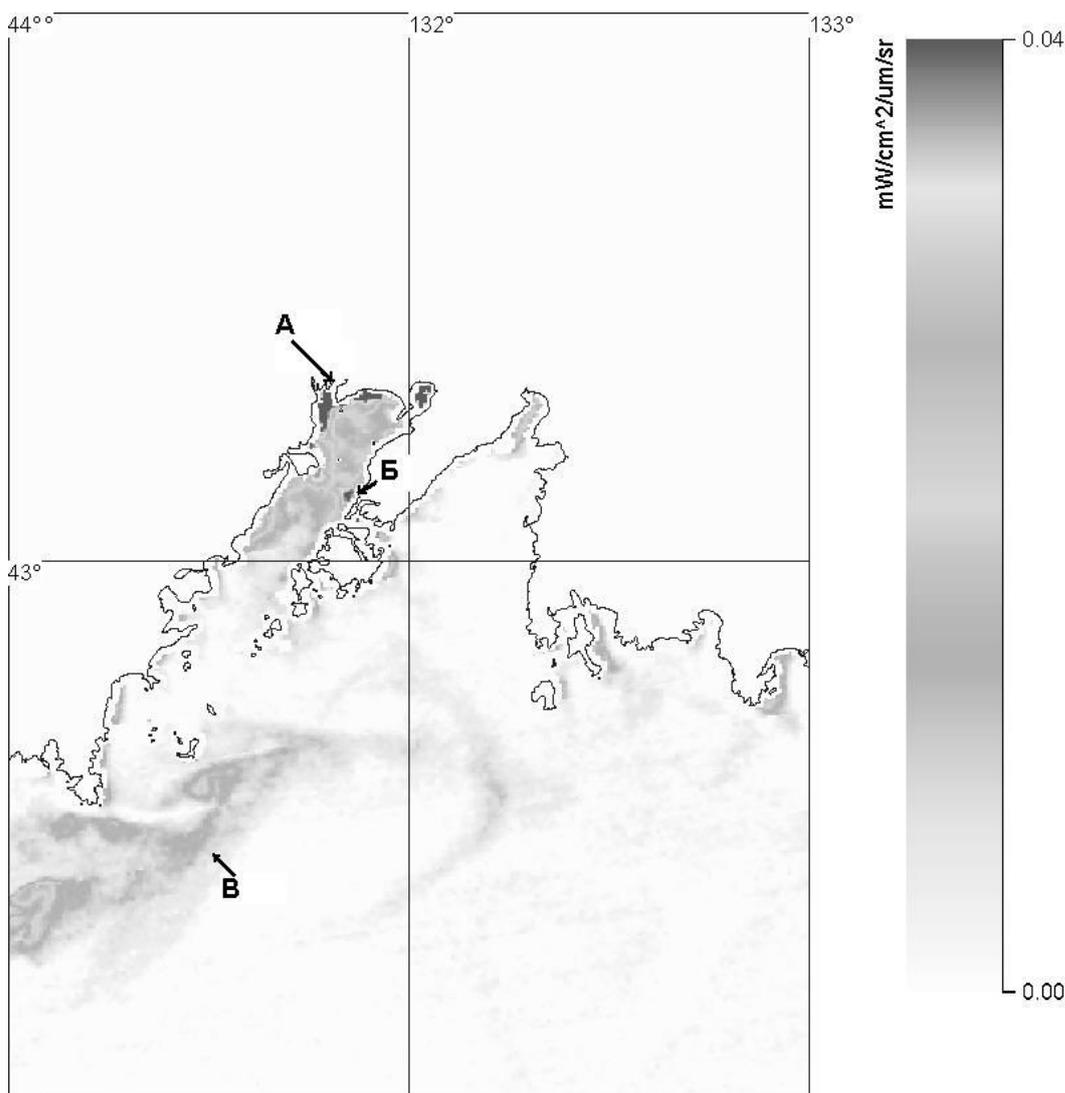


Рисунок 3.5.1. Карта флюоресценции фитопланктона Залива Петра Великого за 28.08.2007 г. А – устье реки Раздольной; Б – аномалия, обусловленная антропогенным влиянием города; В – вынос в залив вод, богатых питательными веществами.

Данные поставляются в двух форматах – в формате hdf (один файл, сжатый архиватором WinRAR) для дальнейшей обработки существующими в мире системами (ENVI, Matlab и др.) и в формате lab34 (до 200 индивидуальных параметров воды, также заархивированных в один файл), который подробно описан на сайте Центра. Для работы с данными в последнем формате пользователь может бесплатно скачать программу Glance, представленную на сайте, которая позволяет просматривать карты всех

параметров, вести некоторую статистическую обработку материала и выдавать информацию как в графической, так и в текстовой формах для последующей обработки. Подробно программный комплекс с основными алгоритмами спутникового мониторинга описан в разделе 3.10.

3.6 Алгоритм для распознавания типа водоросли по данным дистанционного зондирования (спутниковым и/или мобильным радиометром)

Для решения задачи идентификации вида цветущей водоросли будем использовать оптическую модель прохождения излучения в приповерхностном слое (алгоритм Кардера), согласно которой коэффициент отражения моря, рассчитываемый дистанционными методами измерений, можно с хорошей точностью аппроксимировать следующей зависимостью:

$$Rrs(\lambda) = \frac{f * t^2}{Q(\lambda) * n^2} \frac{b_b(\lambda)}{a(\lambda) + b_b(\lambda)},$$

где λ – длина волны, $a(\lambda)$ – коэффициент поглощения морской воды в приповерхностном слое, $b_b(\lambda)$ – коэффициент рассеивания назад. Остальные параметры аппроксимируются известными зависимостями:

$$f / Q(\lambda) = 0.02085 + 0.00028796 * \lambda + 0.000000289 * \lambda^2,$$

$$t^2 / n^2 \approx 0.54.$$

Знание спектральных характеристик вредоносных водорослей позволяет рассчитать коэффициент отражения морской воды для любой длины волны при заданной концентрации водоросли и ее РОВ, что можно положить в основу алгоритма распознавания ВЦВ по спутниковой информации, или измерениям полевого спектрорадиометра. Не смотря на значительное разнообразие видов микроводорослей, задача упрощается из-за того, что при массовом цветении доминирует только несколько видов.

- Для апробации подхода ранее был проведен натурный эксперимент [38]. Использовались измерения видового состава в заливе Петра Великого за 2006 год. Наблюдалось цветение водорослей, и в пробах по биомассе доминировали 2 диатомовых водоросли - *Coscinodiscus oculus-iridis* и *Ditylum brightwellii*. Их доля составляла 70–95% от биомассы всего фитопланктона. Была поставлена задача расчета спектральных характеристик микроводорослей в следующей

форме. Для каждого спутникового измерения изменчивость излучения R канала k относительно излучения чистой воды можно записать в форме:

$$R_k - W_k = \sum C_i \cdot R_{i,k}, \quad (3.6.1)$$

где W_k - излучение чистой морской воды в канале k ; C_i - концентрация биомассы микроводоросли i ; $R_{i,k}$ - спектральный параметр единицы биомассы микроводоросли i совместно с ее РОВ в канале k . Концентрация водорослей бралась из проб видового состава, которые соответствовали пикселям спутникового изображения.

В качестве характеристик микроводорослей $R_{i,k}$ использовались нормализованные восходящие излучения в 13-ти спектральных каналах радиометра MODIS. При проведении расчетов предполагалось, что остатку биомассы, не приходящемуся на доминирующие виды, соответствует некоторая "универсальная" микроводоросль с едиными спектральными характеристиками для всей акватории. Решение задачи (3.6.1) показало устойчивость получения спектральных характеристик $R_{i,k}$ конкретной водоросли. Характеристики водорослей не менялись существенно при использовании в задаче (3.6.1) различных выборок из набора измерений и давали хорошую точность аппроксимации спутниковых измерений R_k по модели (3.6.1).

3.7 Алгоритм построения температуры моря по данным спутника MTSAT-1R.

3.7.1 Создание алгоритма расчета ТПО.

Актуальность.

Поверхность океана закрыта облачностью большую часть времени, что не позволяет строить карты температуры поверхности океана для сколько-нибудь значительных районов с использованием отдельных спутниковых ИК измерений. Поэтому для того чтобы облегчить тематический анализ полей ТПО необходимо объединение спутниковых измерений ТПО сделанных в определенный (дневной, трехдневный, недельный или месячный) период времени.

В ряде зарубежных методик (проект NGSST, SeaDAS time binned data) предлагается строить композиционные карты ТПО, используя в качестве целевой функции сумму квадратов отклонений между восстановленными значениями ТПО и данными in-situ измерений. Данный подход позволяет получать композиционные карты ТПО предназначенные для климатических исследований. Данный метод не подходит для исследования термических структур на поверхности воды – вихрей, фронтов, апвеллингов и т.п., так как он сглаживает контрасты ТПО. Сохранение контуров термических образований поверхности океана является приоритетным для данной работы.

Построение композиционных карт ТПО с достаточной точностью невозможно без статистически точных карт ТПО построенных по отдельным снимкам. Для построения композиционных карт в условиях нестабильной атмосферы особенно важны данные геостационарных спутников. Для наблюдения за западной частью Тихого океана (приоритетного для нас региона) по расположению и техническим параметрам хорошо подходит спутник MTSAT-1R. К сожалению, качественные алгоритмы восстановления значений ТПО по

данным спутника MTSAT-1R не были опубликованы ранее, поэтому создание алгоритма расчета ТПО по данным геостационарного метеорологического спутника MTSAT-1R, удовлетворяющего стандартам точности было приоритетной задачей данного проекта.

Использованные методы и проведенные эксперименты.

Предварительно была создана методика восстановления значений ТПО по данным ИК-измерений спутника MTSAT-1R. В основе восстановления ТПО лежит кросс-калибровка каналов IR1, IR2 спутника MTSAT-1R с каналами 4 и 5 спутника NOAA-18. Применяемый подход предполагает восстановление функций пересчета радиационных температур ИК-каналов спутника MTSAT-1R в соответствующие температуры спутника NOAA и использование имеющихся алгоритмов расчета ТПО по данным спутника NOAA для расчета ТПО по данным MTSAT-1R. Ранее этот подход уже использовалась нами при создании средств калибровки инфракрасных каналов полярно-орбитального метеорологического спутника FY-1D и показал хорошие результаты.

Каналы спутника MTSAT-1R.

Радиометр спутника MTSAT-1R снабжён четырьмя инфракрасными и одним видимым каналами. Диапазон длин электромагнитных волн, воспринимаемых каналами IR1 и IR2, делают возможным восстановления ТПО по методике MCSST. Характеристики каналов спутника представлены в таблице 3.7.1.1 Инфракрасные каналы IR1, IR2 расположены в окне пропускания атмосферы 10-12 мкм, и близость их функций отклика с функциями каналов POES NOAA-18 (Рисунок 2.7.1.1), позволяет сделать вывод о возможности кросс-калибровки каналов двух данных спутников и дальнейшего использования результатов кросс-калибровки для восстановления ТПО.

Таблица 3.7.1.1

Каналы спутника MTSAT-1R.

Идентификатор канала	Тип канала	Диапазон длин волн (мкм)
VIS	Видимый	0,55 – 0,80
IR1	Инфракрасный	10,3 – 11,3
IR2	Инфракрасный	11,5 – 12,5
IR3	Инфракрасный	6,5 – 7,0
IR4	Ближний инфракрасный	3,5 – 4,0

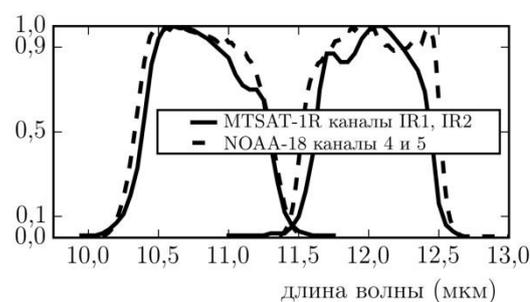
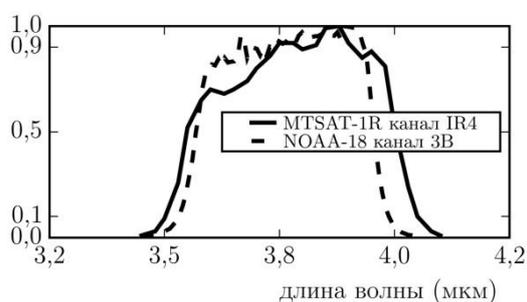


Рисунок 3.7.1.1. Сопоставление функций отклика каналов MTSAT-1R с функциями отклика соответствующих каналов POES NOAA-18.

Из приведённых на рисунке 3.7.1.1 графиков можно сделать следующие выводы:

- Инфракрасные каналы спутника MTSAT-1R близки к инфракрасным каналам спутника NOAA-18. Они несколько «уже» каналов NOAA-18. Канал IR1 очень близок к каналу 4, канал IR2 уже канала 5 и отличается от него в области 12,25–12,5 мкм.
- Канал IR4 несколько уже канала 3B и смещен левее на 0,012 мкм. Различия более существенны, чем у каналов IR1 и IR2.

Для количественной оценки близости каналов была использована модель пропускания излучения через атмосферу MODTRAN [39]. Модель использовалась для расчета разницы радиационных температур, которые могут быть получены двумя спутниками от одной и той же поверхности при

прохождении излучения через атмосферу. Использовался набор стандартных профилей атмосферы, и для каждого набора варьировалось интегральное влагосодержание атмосферы. Максимальные рассогласования для канала IR1 не превышали точности измерений радиометров. Рассогласования для канала IR2 больше чем инструментальная точность каналов (0.125°K) при высокой влажности и температуре поверхности большей 20°C . Эти рассогласования существенно ниже, чем требуемая точность расчета ТПО. Поэтому можно надеяться, что выбранный нами подход должен дать удовлетворительные результаты без использования моделей прохождения излучения через атмосферу.

Кросс-калибровка радиометров.

Для кросс-калибровки радиометров и создания соответствующей процедуры расчета ТПО привлекалась следующая информация.

1) Архивные данные радиометра AVHRR/3 спутника NOAA-18 за 2007 год (1390 сеансов приема) и данные спутника MTSAT-1R (режим HiRID, 4608 сеансов приема), принятые в Региональном центре спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН. Для каждого сеанса приема NOAA-18 были отобраны три последовательных сеанса MTSAT-1R. Временное рассогласование между сеансом NOAA и центральным сеансом MTSAT-1R не превышало 0.5 часа. Крайние изображения последовательности данных MTSAT-1R использовались для фильтрации облачности по временной изменчивости радиационной температуры.

2) Данные центра прогноза погоды США (NCEP/NOAA), которые включали данные о влагосодержании, атмосферном давлении, силе и направлении ветра.

3) Данные о ТПО на глубине 1 метр, полученные океанологическими буйами за 2007 год. Данные получены из баз данных MEDS (Marine Environmental Data Service - служба океанологических данных Федерального департамента

рыболовства и океанов Канады) и NEAR-GOOS (северо-восточного азиатского сегмента Глобальной системы наблюдения за океаном).

Спутниковые данные проходили предварительную обработку (географическую привязку, геометрическую коррекцию, стандартную калибровку каналов) и фильтрацию. Использовались два типа фильтрации – для проведения процедуры кросс-калибровки (сравнение радиационных температур однотипных каналов) и для построения алгоритма расчета ТПО (сравнение спутниковых температур с данными контактных измерений).

В первом случае использовались алгоритмы, основанные на пространственной и временной однородности сравниваемых участков. Однородность по времени проверялась для первого канала спутника MTSAT-1R:

$$\min(|IR1-IR1_{after}|, |IR1-IR1_{before}|) < 0.5^{\circ}K,$$

где IR1 – радиационная температура канала 1 фильтруемого изображения, а IR1_{after} и IR1_{before} радиационные температуры изображений, полученных после и до фильтруемого. Проверка пространственной однородности ИК-каналов производилась у обоих спутников, при этом разброс радиационных температур пикселей, расположенных внутри окружности диаметром 20 км с центром в проверяемом пикселе, не должен был превышать 2°K. Для дневных данных производилась проверка на допустимый разброс величины альбедо в том же окне (не более 1%). Выбирались пиксели NOAA-18 и MTSAT-1R, имеющие одни и те же географические координаты и сканировавшиеся под одинаковыми углами.

Во втором случае к критериям однородности добавлялась стандартная процедура фильтрации облачности по величине альбедо, разнице ИК каналов и значениям атласа среднемесячных температур. Маскировалась суша и солнечный зайчик. При сравнении с *in situ* измерениями, пришедшимися на ночное время, проводилась пороговая отбраковка пикселей, чья температура изменилась более чем на 2 градуса при сравнении с дневной температурой.

Географическое распределение данных, используемых для кросс-калибровки и оценки точности восстановления ТПО, представлено на рисунке 3.7.1.2. Пунктирными линиями показаны изолинии величины атмосферной массы $M=1/\cos(\theta)$, где θ - зенитный угол спутника в точке наблюдения.

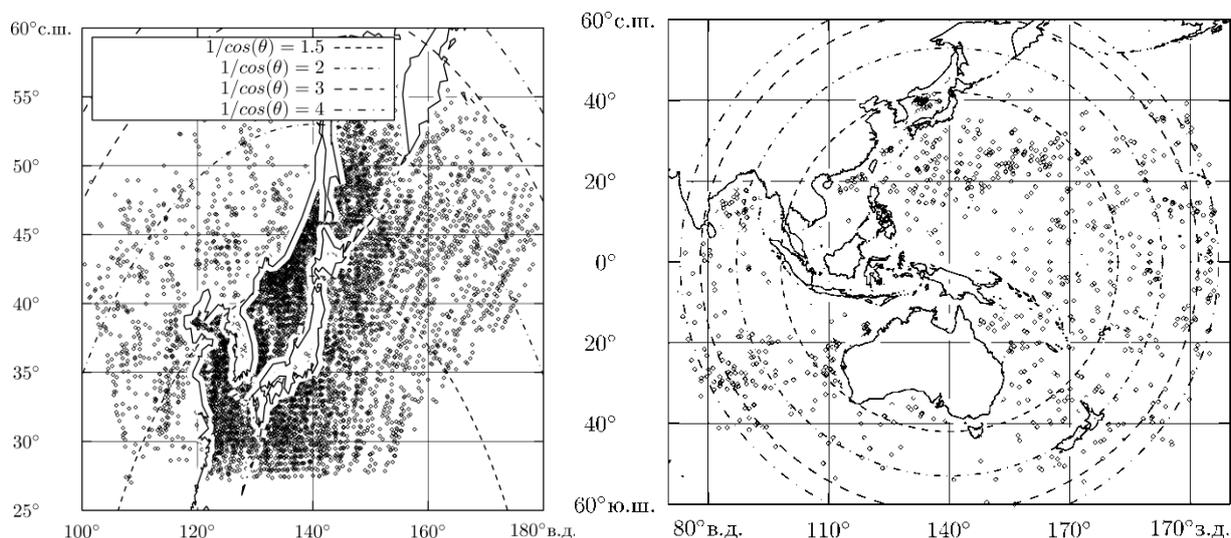


Рисунок 3.7.1.2. Географическое расположение наборов данных используемых для кросс-калибровки (слева) и определения точности восстановления ТПО (справа).

Стандартный подход к кросс-калибровке [40], основанный на обнаружении зависимостей, связывающих радиационные температуры каналов 10,5 мкм и 12 мкм спутника MTSAT-1R с соответствующими каналами спутника NOAA-18, не гарантирует удовлетворительной точности расчета ТПО при применении методик MCSST/NLSST NESDIS. Необходимо совпадение радиационных температур ключевых каналов двух спутников при разных условиях наблюдений. Пересчитанные радиационные температуры спутника MTSAT-1R должны иметь те же зависимости от трех ключевых параметров – температуры сканируемой поверхности, атмосферной массы и концентрации водяного пара.

Построение линейной регрессионной зависимости между радиационными температурами двух спутников в обоих каналах показало, что температуры

фактически идентичны. Наблюдается лишь значительная величина «случайной» компоненты рассогласований. Детальное исследование зависимости разницы радиационных температур от упомянутых выше параметров показало наличие устойчивых связей. Было выяснено, что разница радиационных температур зависит как от атмосферной массы, так и от радиационной температуры подстилающей поверхности. Зависимость от концентрации водяного пара оказалась не существенной. На рисунке 3.7.1.3 приведены эти зависимости в форме оценок средних рассогласований температур, попавших в заданные узкие диапазоны параметров. Кроме того, было обнаружено, что разницы радиационных температур ИК каналов NOAA-18 и MTSAT-1R для дневных и ночных точек различаются примерно на 0.5°C .

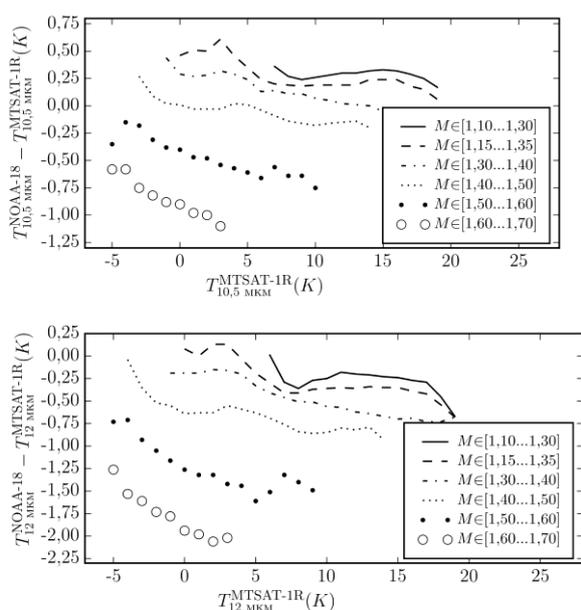


Рисунок 3.7.1.3. Зависимость разности между радиационными температурами двух спутников от температуры подстилающей поверхности и атмосферной массы для канала 10.5 мкм (слева) и 12мкм (справа).

В первом приближении, полученные методом наименьших квадратов зависимости можно описать следующей линейной функцией:

$$T_{ch/NOAA-18} \approx a_{ch} + c_{ch} T_{IR} + d_{ch} (M - 1), \quad (3.7.1.1)$$

где T_{IR} - радиационная температура канала IR1 MTSAT-1R или IR2, а искомые коэффициенты зависят от времени суток (день или ночь) и имеют следующие величины: $a_4^{день} = 0.369 \pm 0.007$, $a_4^{ночь} = 0.830 \pm 0.005$, $c_4 = 1.0076 \pm 0.0005$, $d_4 = 0.0716 \pm 0.017$, $a_5^{день} = -0.128 \pm 0.008$, $a_5^{ночь} = 0.302 \pm 0.006$, $c_5 = 0.9988 \pm 0.0005$, $d_5 = 0.28 \pm 0.02$. Стандартное рассогласование радиационных температур составило $\sigma_4 = 0.36$ для канала 10.5 мкм и $\sigma_5 = 0.43$ для канала 12 мкм.

Приведя радиационные температуры MTSAT-1R к радиационным температурам соответствующих каналов спутника NOAA-18, мы можем использовать алгоритмы для спутника NOAA-18 при расчете ТПО по данным MTSAT-1R. В частности, использование подхода MCSST [41] для NOAA-18 с конкретными формулами оценки температуры на глубине 1 м, представленными в документе [42], позволило построить алгоритм расчета ТПО, где вместо радиационных температур спутника NOAA-18 использовались полученные формулы пересчета (3.7.1.1). Сопоставление квази-синхронных температурных полей, рассчитанных по данным двух спутников, дало среднеквадратичное отклонение около 0.4°K и отсутствие смещения на серии из 50 изображений за март 2007 года. На рисунке 3.7.1.4 приведен пример карт ТПО, рассчитанных по данной технологии.

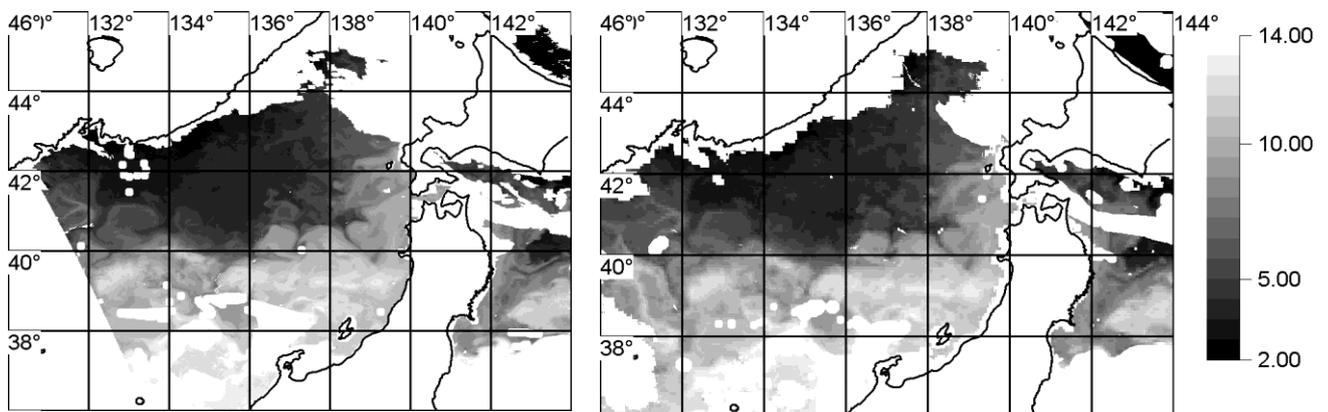


Рисунок 3.7.1.4. Карты температуры поверхности, рассчитанные по данным NOAA-18 (слева) и MTSAT-1R (справа) за 11 апреля 2007 года.

Поскольку кросс-калибровка проводилась по районам Северо-западной части Тихого океана, что составляет относительно небольшую часть геостационарного изображения, то задача создания алгоритма расчета ТПО не может считаться решенной. Для уточнения качества созданного алгоритма на всей акватории обзора использовались измерения плавающих буев. Всего было использовано около 1000 измерений.

Первые же эксперименты по сравнению спутниковых оценок ТПО с *in situ* измерениями показали, что созданный алгоритм хорошо работает для точек, расположенных в диапазоне широт 100° в.д. - 180° в. д., при этом стандартное отклонение составляет 0.65°K , а систематическая ошибка фактически отсутствует. Анализ пространственного распределения невязок температурных измерений показал их зависимость от долготы. Распределение неравномерное, наибольшие рассогласования температур наблюдаются на западном и восточном краях изображений и объясняются аналогичными зависимостями радиационных температур каналов IR1 и IR2 от долготы. На рисунке 2.7.1.5 приведены рассогласования температур, полученные осреднением невязок на интервалах в 10 градусов по долготе.

Полученные рассогласования хорошо аппроксимируются полиномом четвертой степени от величины $L=(lon-140)/90$, где lon – долгота точки измерения. Поскольку интеркалибровка не охватывала весь регион наблюдений, осуществляемых спутником MTSAT-1R, то на последнем этапе осуществлялось уточнение всех коэффициентов расчета ТПО, присутствовавших в финальной формуле.

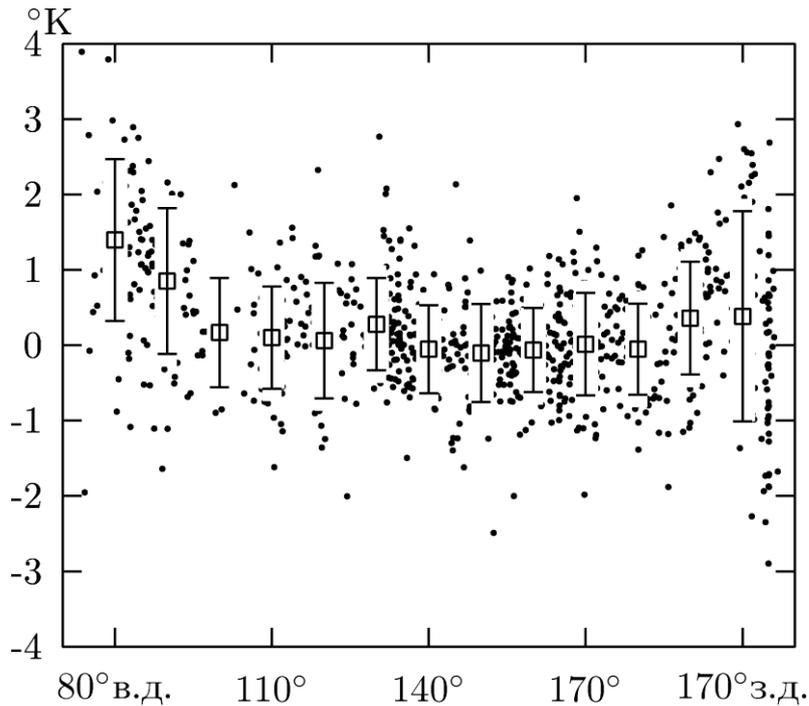


Рисунок 3.7.1.5. Распределение рассогласований спутниковых и дрефтерных оценок ТПО по долготе и интервальные оценки среднего рассогласования и стандартного отклонения.

Решалась соответствующая задача нелинейного программирования на основе всех имевшихся дрефтерных измерений температуры за год. Было получено следующее уравнение расчета температуры:

$$T_{MCSST} = a_0 + a_1 T_{IR1} + a_2 (\sec(\theta) - 1) + a_3 (T_{IR1} - T_{IR2}) + \\ + a_4 (T_{IR1} - T_{IR2})(\sec(\theta) - 1) + a_5 T_{IR1}(\sec(\theta) - 1) + a_6 (\sec(\theta) - 1)^2 + \\ + b_1 L + b_2 L^2 + b_3 L^3 + b_4 L^4$$

с коэффициентами для дня:

$$a_0 = -286,83, \quad a_1 = 1,0508, \quad a_2 = 1,1953, \quad a_3 = 2,497, \quad a_4 = 0,0731, \quad a_5 = 0,0069, \quad a_6 = -0,1634, \\ b_1 = -0,81, \quad b_2 = -0,77, \quad b_3 = -1,0, \quad b_4 = 11,8$$

и для ночи:

$$a_0 = -282,172, \quad a_1 = 1,0357, \quad a_2 = 1,1656, \quad a_3 = 2,6319, \quad a_4 = 0,026, \quad a_5 = 0,0065, \quad a_6 = -0,153, \\ b_1 = -0,81, \quad b_2 = -0,77, \quad b_3 = -1,0, \quad b_4 = 11,8$$

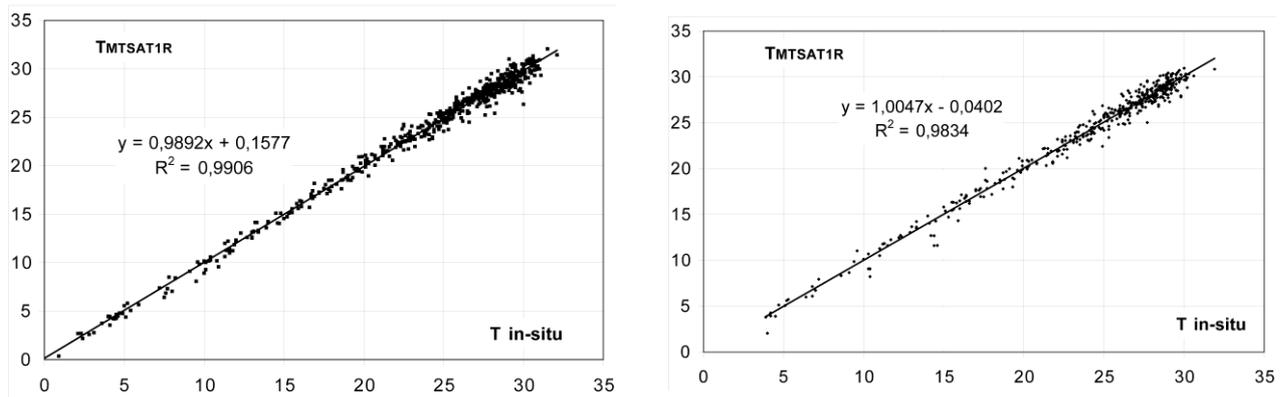


Рисунок 3.7.1.6. Сопоставление спутниковых и подспутниковых измерений температуры моря и их регрессионные зависимости для дня (слева) и ночи (справа).

Результаты сравнения спутниковых и подспутниковых измерений приведены на рисунке 3.7.1.6. Стандартное отклонение для дня составило 0.67°K , а для ночи – 0.78°K . Рост величины невязок в ночное время может быть объяснен недостатками процедуры фильтрации облачности, так как в ночное время не используется канал в видимом спектральном диапазоне, обеспечивающий наиболее эффективную фильтрацию днем. Полученные зависимости могут использоваться для восстановления ТПО по данным спутника MTSAT-1R и их точность удовлетворяет современным требованиям. Однако следует отметить, что неравномерность стандартного отклонения температурных невязок осталась. При росте атмосферной массы наблюдается рост стандартного отклонения, превышающий 0.8°K при величине атмосферной массы $M > 3$. Следует отметить, что такие величины атмосферной массы у полярно-орбитальных спутников NOAA не наблюдаются. Возможное объяснение этого явления – аппроксимации зависимостей между радиационными спутниковыми температурами и реальной температурой, используемые в технологиях MCSST/NLSST NESDIS, недостаточно точны для таких углов наблюдения, и требуется вводить дополнительные члены.

Особенности данных спутника MTSAT-1R

Таким образом, было обнаружено, что основными причинами, ограничивающими использования данных спутника MTSAT-1R для расчета температуры поверхности океана, являются неточность калибровки инфракрасных каналов и дефекты аппаратуры. Используемая обычно калибровка каналов по технологии NOAA/NESDIS, разобранный нами в работе [43], представляет собой последовательность процедур построения аппроксимационных зависимостей между отсчетами радиометра и радиационными температурами. Формальная оптимизационная подгонка параметров этих зависимостей имеет неоднозначное решение, что приводит к изменению зависимости радиационных температур от ключевых параметров атмосферы. Для MTSAT-1R это привело к значительным отличиям радиационных температур от соответствующих температур спутника NOAA-18, зависящих от температуры подстилающей и атмосферной массы, несмотря на то, что функции отклика каналов 10.5 и 12 мкм близки.

Помимо неточностей калибровки, которые исправляются соответствующими регрессионными зависимостями, свой вклад в ошибку расчета температуры алгоритмом Японского метеорологического агентства внесла обнаруженная особенность радиометра, завышающая радиационные температуры в западной и восточной частях изображений. Это приводило к появлению систематической ошибки расчета ТПО при сравнении с данными *in situ* наблюдений, чья величина, по-видимому, объяснялась неравномерностью пространственного распределения наблюдений. Учет этой особенности радиометра позволил решить эту проблему. Апробация созданного нами алгоритма на годичной серии сопоставлений спутниковых и подспутниковых наблюдений показала точность, удовлетворяющую существующим требованиям к спутниковым оценкам температуры поверхности океана.

3.7.2. Построение композиционных карт.

Для этого были проанализированы и частично реализованы три метода построения композиционных изображений: метод объективного анализа, аналогичный используемому в рамках проекта NGSST, метод И. Гончаренко, используемый в ЦКП ДВО РАН для построения композиционных изображений на основе данных спутников POES NOAA, набор методов анализа гистограмм значений ТПО, сосредоточенных в окрестности пикселей. При этом было обнаружено следующее.

а) Применение метода объективного анализа приводит к сглаживанию контрастов ТПО. Теоретически, расчет эллипсов корреляции в каждой точке изображения на основе карт или атласов доминантных термических контрастов поможет избавиться от данной особенности, но в проекте NGSST данные карты доминантных термических контрастов не используются.

б) Метод И. Гончаренко, ориентированный на иерархическую обработку данных спутника POES NOAA, сохраняет термические контрасты ТПО, но имеет тенденцию к появлению паразитных фронтов на границах анализируемых участков.

в) Композиции ТПО, построенные с помощью медианного сглаживания, хорошо сохраняют положение и величину градиента термических контрастов. При этом наилучшее качество композиций обеспечивается при использовании трехдневных наборов наблюдений – в этом случае сохраняется положение термических структур поверхности океана, а объем данных в получаемых гистограммах (около 120 точек в каждой) позволяет эффективно отсеивать частичную облачность.

Требования к системе построения композиционных карт

Для построения композиционных карт необходима комплексная система обработки и хранения данных, а также интерфейс взаимодействия с пользователем. Такая система должна обеспечивать следующие:

- Сбор и сохранение данных с определенных спутников.
- Предоставлять интуитивно понятный интерфейс.
- По запросу строить композиционные карты ТПО, либо предоставить доступ к исходным данным.
- Выбор того или иного алгоритма построения композиционных карт ТПО, а также тонкую настройку параметров обработки.
- Возможность использовать для обработки свой алгоритм.

Принципиальная концепция системы

Исходя из изложенного выше, можно предложить схему интегрированного анализа, применяемую в технологии экспертных систем — обработка измерений «снизу — вверх» для получения карты изотерм (при этом получается также сопутствующая информация — гистограммы) и управляемое символической моделью (картой изотерм) обнаружение фронтов «сверху — вниз». Такая многоуровневая схема позволяет объединить разнородные механизмы анализа, обеспечивая при этом не только хороший компромисс между требованиями помехоустойчивости и детальности анализа, но и значительное снижение затрат на обработку. Последнее достигается, прежде всего, за счет использования присущего человеку механизма «фокуса внимания», позволяющего проводить детальный анализ только в наиболее «интересных» участках изображения.

Для выделения и прослеживания мезомасштабных неоднородностей в качестве символической модели контекста используются выделенные ранее термические фронты, которые занимают довольно малую площадь изображения и позволяют теперь обеспечить оконтуривание неоднородностей путем проведения изотерм непосредственно по исходным ИК изображениям.



Рисунок 3.7.2.1. Общая схема работы системы построения композиций ТПО

Отметим, что «привязка» к фронту позволяет ограничиться проведением единственной изотермы, проходящей на этом участке по фронту; при этом процедура оконтуривания будет помехоустойчивой и уже не потребует больших вычислительных затрат, что еще раз подтверждает эффективность стратегии «фокуса внимания». Общая схема работы системы построения композиций ТПО представлена на рисунке 3.7.2.1.

Система состоит из трех частей:

1) База данных — подсистема накопления и хранения данных. Эта часть отвечает за актуализацию и упорядочивание данных. Она собирает все доступные спутниковые данные, преобразовывает к единому формату (формату проекций *.prg) и раскладывает их в определенной системе каталогов. Структура каталогов БД организована естественным образом: На верхнем уровне данные упорядочиваются по типу радиометра – инфракрасный, микроволновый и т. д., далее по году, месяцу, числу (номеру дня в месяце). На нижнем уровне упорядочивание происходит по времени суток именованим файлов в формате <часы.минуты>

Лабораторией спутникового мониторинга осуществляется прием и обработка только инфракрасных данных. Для получения микроволновых данных была реализована специальная подсистема, о которой будет рассказано ниже.

2) Исполнительный модуль — подсистема компоновки карт ТПО из исходных данных. Представляет собой консольное приложение, которое на входе получает список обрабатываемых файлов, а на выходе возвращает готовую карту ТПО.

Формат вызова: `compt.exe <out.pro> <list of files>`. Реализация модуля будет описана ниже.

Имеется возможность использовать любой другой подобный модуль, разработанный сторонним программистом, реализующий какой-либо алгоритм построения композиций ТПО.

3) Управляющий модуль - подсистема ответственная за организацию интерфейса между БД и Исполнительным модулем и непосредственно взаимодействующая с пользователем. Для получения композиционной карты ТПО у пользователя запрашиваются координаты региона и временной интервал. Управляющий модуль, получив эти данные, обращается к БД, находит соответствующие файлы и запускает исполнительный модуль на обработку, передав ему список файлов. После отработки управляющего модуля, результат — композиционная карта ТПО — передается пользователю.

Модуль получения микроволновых данных

В построенных картах ТПО открыто, как правило, около 60% поверхности океана. Единственным способом дальнейшего увеличения полноты получаемых карт ТПО служит использование микроволновых измерений ТПО, несмотря на то что диаметр пикселя в случае микроволновых измерений достигает 40 км, против 1,1 км в случае ИК измерений. В качестве источника микроволновых данных был выбран радиометр AMSR-E спутника Aqua. Данные о восстановленных значениях ТПО извлекались из системы

доступа к данным Японского агентства по исследованию космического пространства. Данная система доступа предназначена только для работы в ручном режиме, что делает невозможной оперативную обработку микроволновых данных. Поэтому был создан пакет программ получающих список имеющих в системе данных, выполняющих их заказ, получение и преобразование во внутренний формат лаборатории.

Последовательность действий для получения данных такова:

1. Авторизация и переход на страницу поиска и заказа данных
2. Выбор типа спутниковых данных — AMSR-E
3. Переход на страницу выбора даты и параметров данных: Date, ProcessingLevel, Geophysical Parameters
 - Выбор даты
 - Выбор ProcessingLevel (2)
 - Выбор Geophysical Parameters (SST)
4. Переход на страницу найденных данных, выбор нужных и добавление в корзину
5. Подтверждение заказа, переход в корзину
6. Размещение заказа и еще раз подтверждение
7. После подтверждения заказа, необходимо дождаться его готовности, о чем будет сообщено письмом на e-mail указанный при регистрации
8. После получения письма о готовности заказа необходимо снова зайти на сайт www.eorc.jaxa.jp и в разделе «order status» отметить данные для загрузки, после чего их можно скачать.

Для автоматизации процесса заказа и получения данных был реализован специальный модуль, имитирующий действия пользователя в браузере. Модуль написан на PHP, (что обеспечивает кроссплатформенность) с применением класса spooru и утилиты curl (позволяют имитировать действия пользователя в браузере) и разделен на три подсистемы:

1. Поиск и заказ данных (test_.php) — осуществляет выполнение пунктов 1–

6 описанных выше, имеет 3 режима работы:

- выкачать все данные за определенную дату — отбирает для заказа все найденные данные за указанную дату
- автоматический — отбирает для заказа все новые данные появившиеся после последнего сеанса работы
- специальный — заказывает только указанные данные, есть возможность не заказывать данные а скачать детальное описание о картах для последующего анализа

2. Проверка статуса заказанных данных (`check_mail.php`) — осуществляет проверку электронной почты. После заказа данных на e-mail указанный при регистрации приходит письмо-уведомление о сделанном заказе. После некоторого времени приходит второе письмо, сообщающее о том, заказ готов и можно закачивать данные. Алгоритм работы:

- Соединяемся с почтовым сервером
- Узнаем количество писем. Если писем 2, значит заказа готов и можно скачивать данные, если письмо всего одно, значит нужно дождаться исполнения заказа. Если же писем больше 2-х, значит произошла исключительная ситуация, требующая ручного вмешательства — скрипт завершает свою работу.

3. Загрузчик готовых данных — скачивает готовые данные с помощью утилиты `wget`.

Управление модулем осуществляется набором скриптов, написанных на языке `bash (bourne again shell)`.

Данные скрипты:

1. Определяют какие данные доступны для указанной даты, какие регионы захватываются ими
2. Для указанной даты создается список имеющихся на сайте, но еще не полученных данных
3. Для выбранной даты и указанного списка файлов осуществляется последовательность заказ, ожидание, загрузка, сохранение в архиве.

Для распаковки полученных данных использовалась процедура `pcdump`, входящая в пакет HDF4.

Модуль построения композиций ТПО

Для построения композиционных карт был реализован отдельный модуль, на основе метода медианного сглаживания. На рисунке 3.7.2.2. представлена схема работы метода, реализованного в модуле.

На вход программе подается список файлов для обработки и имя выходного файла. Программа загружает их в оперативную память и запускает цикл обработки по всем точкам. Для каждой точки создается вектор значений (по одному значению из каждого файла), при этом в вектор попадают только значимые данные, исключая облачность и сушу (помечаются числами -5 и -7 соответственно).

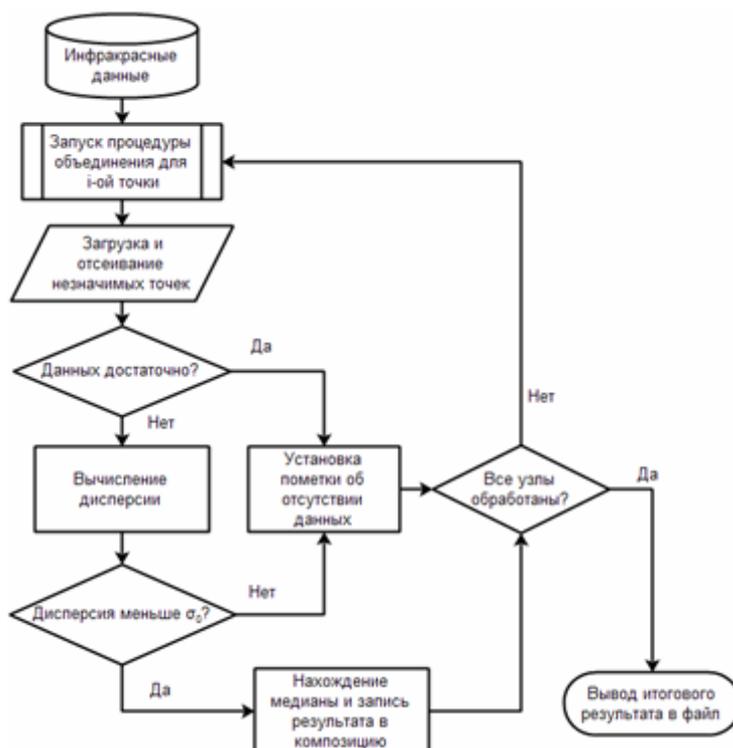


Рисунок 3.7.2.2. Схема работы метода медианного сглаживания

После отбора значимых данных проверяется, хватает ли их для построения композиции, если их меньше некоторого порогового значения, точка

помечается маркером облачности, если же данных достаточно, то для них вычисляется дисперсия и сравнивается с σ_0 (дисперсионный порог), если дисперсия больше σ_0 , то точка также помечается маркером облачности, если же дисперсия меньше σ_0 , то вычисленное значение медианы принимается в качестве результата композиции для данной точки. После обработки всех точек, итоговый результат записывается в файл.

Этот же алгоритм с небольшими изменениями используется и для объединения микроволновых данных. Отличия лишь в том, что в процедуре объединения нет необходимости отсеивать маркеры облачности, так как она в микроволновых данных отсутствует.

Итак, после процедуры объединения мы имеем два файла композиции: отдельно микроволновые и инфракрасные данные. Для получения итоговой карты ТПО необходимо их объединить, так как точность инфракрасных данных больше, при объединении микроволновые данные используются только для того чтобы восполнить отсутствующие данные на композиции инфракрасных данных.

Серия экспериментов по качеству работы метода

Для улучшения качества получаемых композиционных карт была проведена серия экспериментов. Эксперименты проводились путем дополнения алгоритма построения композиций и изменением его пороговых параметров:

- Порог по количеству данных — доля значимых данных от общего количества данных (количества файлов), если значимых данных мало точка помечается маркером облачности.
- Дисперсионный порог — для каждой точки вычисляется дисперсия и если она оказывается больше некоторого числа σ_0 (1,0–2,5), то точка выбраковывается.

Лучшие результаты были получены при количестве данных не менее 15% от общего количества файлов и $\sigma_0 < 2$.

На рисунке 3.7.2.3. представлены композиционные карты ТПО по данным спутников MTSAT-1R и AMSR-E, а на рисунке 2.7.2.4. - композиционная карта, построенная на основе совместного использования данных обоих спутников за 1–3 августа 2007 года..

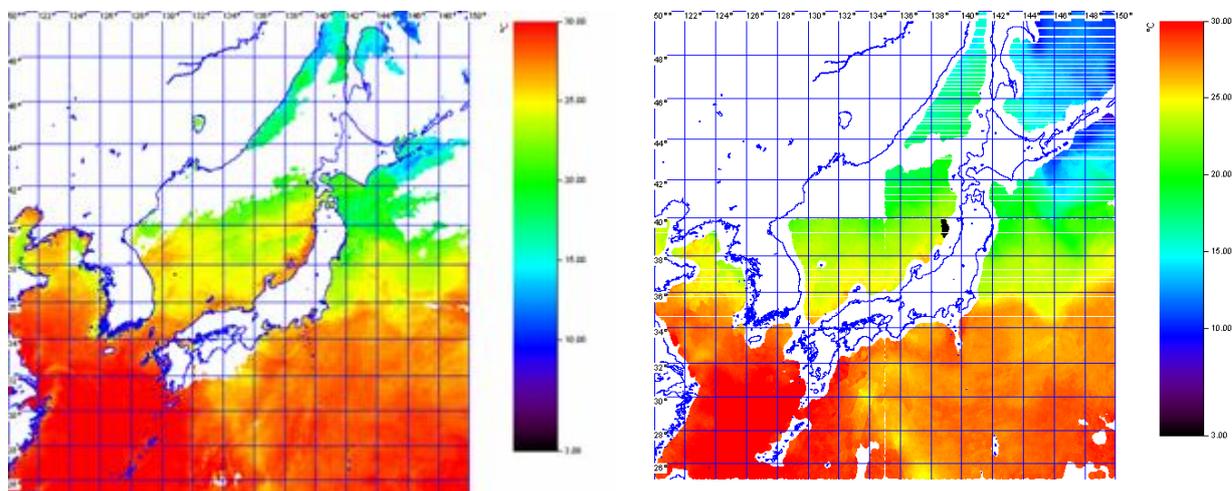


Рисунок 3.7.2.3. Композиционные карты ТПО по данным спутников MTSAT-1R (слева) и AMSR-E(справа).

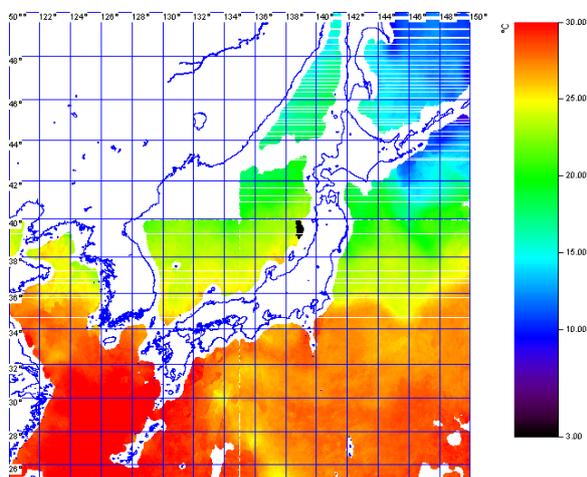


Рисунок 3.7.2.4. Композиционная карта, построенная на основе совместного использования данных обоих спутников

Основные результаты

Была создана система построения композиционных карт ТПО по данным спутника MTSAT-1R. Проведена апробация созданной системы на месячной

серии данных. Организован доступ к оперативным микроволновым измерениям ТПО. Созданы и апробированы средства восполнения спутниковых ИК-измерений ТПО микроволновыми измерениям ТПО.

3.8 Алгоритм восстановления концентрации хлорофилла-а и растворенного органического вещества из спутниковых данных по цвету моря для залива Петра Великого.

В ходе выполнения проекта на предыдущих этапах были получены следующие эмпирические алгоритмы, восстанавливающие концентрацию хлорофилла-а и растворенного органического вещества из спутниковых данных по цвету моря в заливе Петра Великого.

chl_reg01 - Хлорофилл региональный 1

$$\log_{10} C_{chlA} = 1 - a_1 \times \exp(a_2 \times R_{OC3M}), a_1 = 0.725, a_2 = 2.02 \quad (3.8.1)$$

$$R_{OC3M} = \log_{10} \frac{R_{rs\ 443} > R_{rs\ 488}}{R_{rs\ 551}} \quad (3.8.2)$$

chl_reg02 - Хлорофилл региональный 2

$$C_{chlA}^0 = \left(\frac{a}{FLH + k} - 0.2 \right)^{-1} \text{ при } R_{OC3M} < -0.1 \quad (3.8.3)$$

$$C_{chlA}^0 = \frac{1}{10^{a_1 R_{OC3M} + a_2 R_{OC3M}^2 + a_3 R_{OC3M}^3}}, a_1 = 0.347, a_2 = -2.9, a_3 = 4, R_{OC3M} \geq -0.1 \quad (3.8.4)$$

$$R_{OC3M} = \log_{10} \frac{R_{rs\ 443} > R_{rs\ 488}}{R_{rs\ 551}} \quad (3.8.5)$$

dom_reg01 - POB региональный 1

$$C_{RDOM} = a \cdot C_{OC3M} + b \cdot C_{Rchl2} + c, a = 0.8646, b = 1.4701, c = -1.1027 \quad (3.8.6)$$

$$C_{oc3m} = 10^{(0.283 - 2.753 * R_{oc3m} + 1.457 * R_{oc3m}^2 + 0.659 * R_{oc3m}^3 - 1.403 * R_{oc3m}^4)} \quad (3.8.7)$$

На рисунке 3.8.1 приведены положения судовых флуоресцентных измерений, которые были проведены одновременно с пассивными оптическими измерениями. Точками показаны одновременные измерения с данными спутникового зондирования, кружками показаны одновременные измерения с

данными судового зондирования восходящего излучения моря. Синий цвет – данные 2008 года, зеленый – 2009 год и красный – 2010 год.

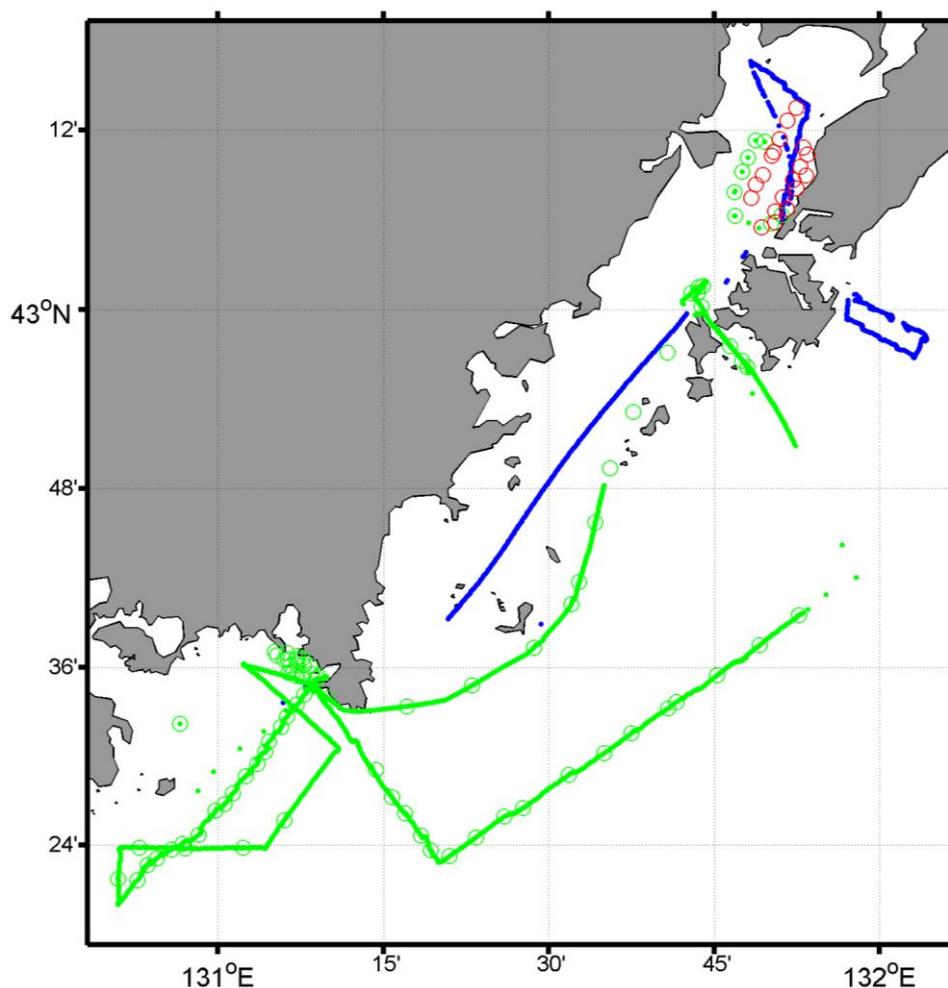


Рисунок 3.8.1. Географическое положение одновременных судовых флуоресцентных измерений и оптических пассивных измерений восходящего излучения моря в 2008-2010 гг.

На рисунке 3.8.2 показаны диаграммы рассеяния концентраций хлорофилла-а и РОВ, восстановленных из данных пассивного зондирования цвета моря, и данных, восстановленных из судовых флуоресцентных измерений.

В таблице 3.8.1 и 3.8.2 представлены оценки точности использования различных глобальных и региональных биооптических алгоритмов к массивам данных за разные года.

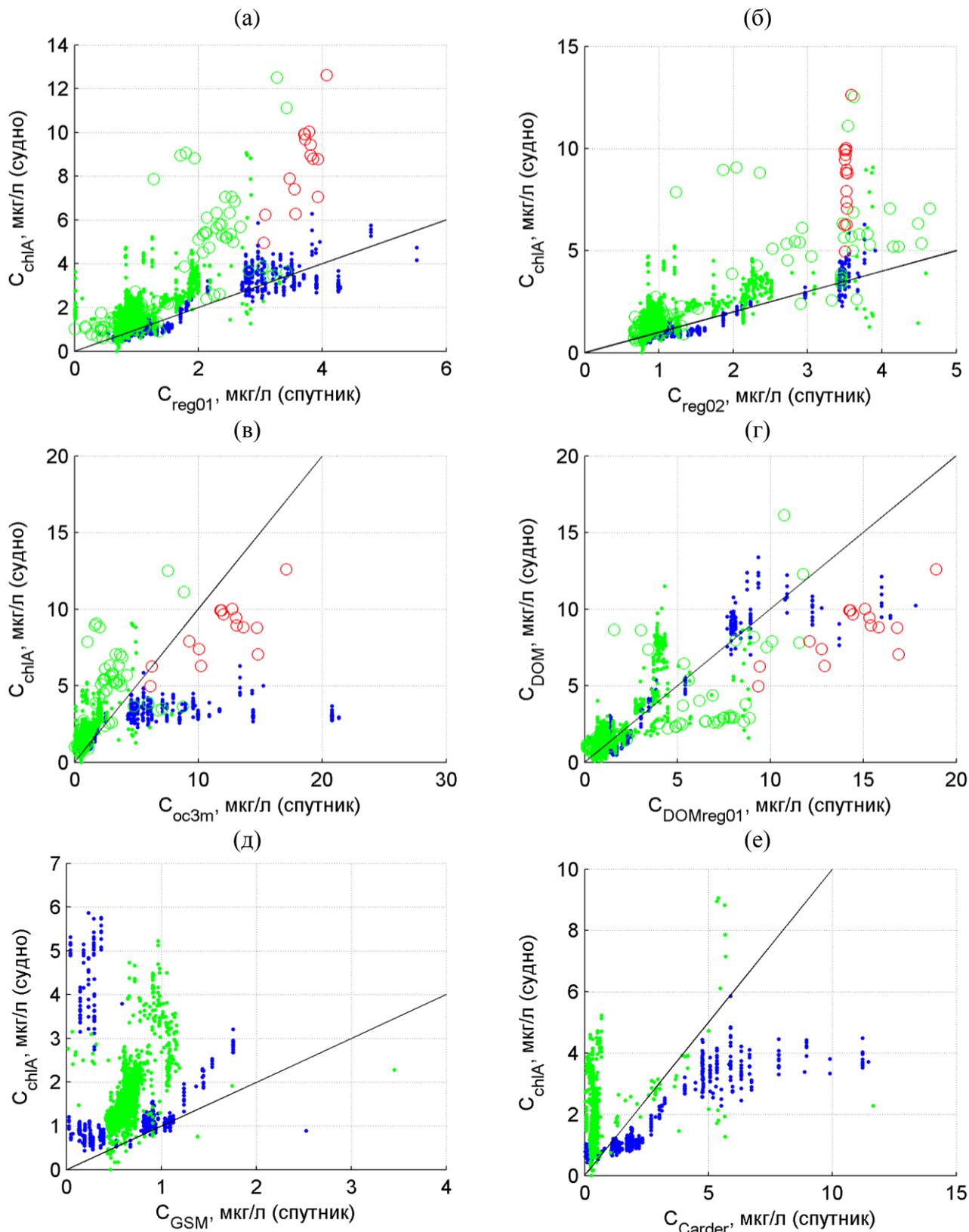


Рисунок 3.8.2 – Диаграммы рассеяния концентраций хлорофилла-а и РОВ, восстановленных из данных пассивного зондирования цвета моря, и флуоресцентных судовых данных.

В таблице 3.8.1 показаны относительные значения (в процентах) среднеквадратичной ошибки отклонения точек от прямой $y = x$. Данную величину можно принять за оценку точности алгоритма.

Использовались четыре массива данных пассивного зондирования цвета океана: «2008 Sat» – данные спутникового зондирования MODIS-Aqua в 2008 году (синие точки), по которым проводилась разработка региональных биооптических алгоритмов; «2009 Sat» - данные спутникового зондирования MODIS-Aqua в 2009 году (зеленые точки); «2009 ASD» - данные судового зондирования спектрометром ASD в 2009 году (зеленые кружки); «2010 AS» - данные судового зондирования спектрометром ASD в 2010 году (красные кружки).

В таблице 3.8.2 представлены значения коэффициентов корреляции между величинами, представленными на диаграммах рассеяния рисунке 3.8.2. Наличие значимой линейной корреляции говорит о возможности проведения простой корректировки алгоритмов.

Таблица 3.8.1.

Значения относительных ошибок анализируемых биооптических алгоритмов.

	2008 Sat	2009 Sat	2009 ASD	2010 ASD
chl_reg01	27	73	113	84
chl_reg02	22	63	660	88
oc3m	200	87	92	37
GSM	163	133	-	-
carder	84	137	-	-
dom_reg01	40	567	747	52

Таблица 3.8.2.

Значения коэффициентов корреляции при использовании различных биооптических алгоритмов.

	2008 Sat	2009 Sat	2009 ASD	2010 ASD
chl_reg01	0.92	0.63	0.75	0.76
chl_reg02	0.96	0.65	0	0.48
oc3m	0.65	0.61	0.66	0.76
GSM	-0.13	0.25	-	-
carder	0.90	0.39	-	-
dom_reg01	0.94	0.12	0	0.76

Зеленым цветом в таблицах 3.8.1 и 3.8.2 приведены хорошие значения рассчитанных коэффициентов, оранжевым – приемлимые значения, красным – неудовлетворительные значения.

Из анализа диаграмм рассеяния на Рисунок 3.8.2 и значений из таблиц 3.8.1 и 3.8.2. можно сделать следующие выводы.

Разработанные региональные биооптические алгоритмы показывают более хорошие результаты, чем любые глобальные алгоритмы, при их применении к спутниковым данным. Глобальными алгоритмами здесь являются oc3m, GSM и Carder.

При использовании данных судового радиометра возникают существенные расхождения, но при этом наблюдается высокий коэффициент корреляции с данными флуориметров для алгоритмов chl_reg01 и oc3m. Это говорит о возможности построения корректных региональных биооптических алгоритмов для судового радиометра ASD. Некорректная работа алгоритмов chl_reg02 и dom_reg01 вызвана использованием данных по интенсивности солнечно-индуцированной флуоресценции, которые являются не калиброванными в случае применения судового радиометра. Таким образом, значения коэффициентов chl_reg02 и dom_reg01 необходимо подкорректировать для использования с судовым радиометром.

Общей задачей дальнейших исследований является разработка регионального алгоритма, который будет одинаково хорошо работать для массивов данных различных годов и различных радиометров. Планируется единая процедура оценки высоты линии флуоресценции солнечно-индуцированной флуоресценции. Одновременное использование судовых флуоресцентных измерений и пассивных оптических измерений восходящего излучения моря позволит оценивать качество атмосферной коррекции.

3.9 Методика верификации спутниковых измерений на основе маршрутных судовых подспутниковых измерений биооптических характеристик морской толщи и стационарных наземных наблюдений характеристик атмосферы.

Данные спутникового зондирования цвета океана и судовые данные флуориметрических и оптических пассивных измерений коэффициента яркости моря были использованы для разработки методики верификации спутниковых измерений. Данная методика реализованная в алгоритмических средствах позволяет восстанавливать значения концентрации хлорофилла-а и коэффициента поглощения растворенных органических веществ из гиперспектральных спектров восходящего излучения моря, полученных с борта судна и проверять результаты спутниковых измерений. В дальнейшем за счет настройки и упрощения алгоритма планируется его применение к данным спутникового зондирования цвета моря.

Измерения отражательной способности моря производились с помощью гиперспектрального спектрофотометра с борта судна по методике, основанной на протоколах НАСА. Последовательно измерялись спектры некалиброванной яркости восходящего излучения от морской поверхности $S_{sfc}(\lambda, \theta, \phi \in \Omega_{FOV}; \theta_0)$, спектры некалиброванной яркости излучения неба $S_{sky}(\lambda, \theta_{sky}, \phi \in \Omega_{FOV}; \theta_0)$, спектры некалиброванной яркости излучения, отраженной горизонтальной пластинкой (максимально близкой к Ламбертовской поверхности) $S_g(\lambda, \theta_g, \phi_g \in \Omega_{FOV}; \theta_0, \phi_0)$ с известной функцией распределения отраженного света по двум направлениям отражения $R_g(\lambda, \theta_g, \phi_g \in \Omega_{FOV}; \theta_0, \phi_0)$ (рисунок 3.9.1). Для дальнейших расчетов каждая серия спектров фильтровалась на явные выбросы, после чего рассчитывался медианный спектр и спектральное распределение ошибки измерений. Все расчеты были реализованы в среде MATLAB. Спектральное распределение

отражательной способности морской воды $R_{rs}(\lambda, \theta, \phi \in \Omega_{FOV}; \theta_0)$ рассчитывалось по следующим формулам:

$$S_w(\lambda, \theta, \phi \in \Omega_{FOV}; \theta_0) = S_{sfc}(\lambda, \theta, \phi \in \Omega_{FOV}; \theta_0) - \rho \cdot S_{sky}(\lambda, \theta_{sky}, \phi \in \Omega_{FOV}; \theta_0) \quad (3.9.1)$$

$$R_{rs}(\lambda, \theta, \phi \in \Omega_{FOV}; \theta_0) = \frac{S_w(\lambda, \theta, \phi \in \Omega_{FOV}; \theta_0) \cdot R_g(\lambda, \theta_g, \phi_g \in \Omega_{FOV}; \theta_0, \phi_0)}{\pi \cdot S_g(\lambda, \theta_g, \phi_g \in \Omega_{FOV}; \theta_0, \phi_0)} \quad (3.9.2)$$

Здесь $S_w(\lambda, \theta, \phi \in \Omega_{FOV}; \theta_0)$ – спектр некалиброванной яркости восходящего излучения моря; λ – длина волны излучения; θ и ϕ – зенитный и азимутальный углы, под которыми спектрофотометр направлен на морскую поверхность; θ_0 и ϕ_0 – зенитный и азимутальный углы Солнца; θ_{sky} – зенитный угол, сопряженный с θ ; θ_g и ϕ_g зенитный и азимутальный углы, под которыми спектрофотометр направлен на горизонтальную пластинку; Ω_{FOV} – угол поля зрения объектива спектрофотометра.

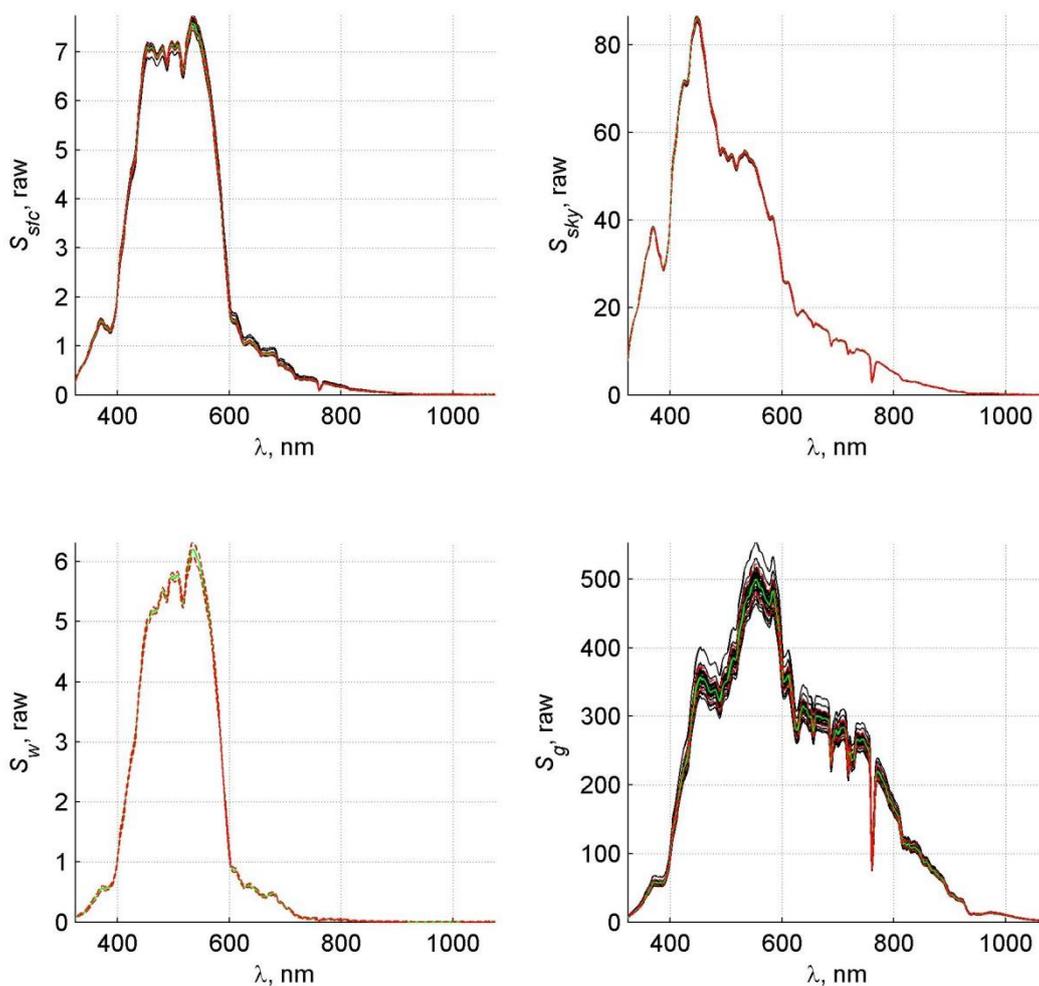


Рисунок 3.9.1 – Спектры некалиброванной яркости излучения: (а) восходящего от морской поверхности, (б) неба, (в) восходящего из морской воды, (г) отраженного от Ламбертовской поверхности.

Пример спектрального распределения R_{rs} представлен на рисунке 3.9.2. Сигнал в области больше 750 нм может быть вызван рассеянием на воздушных пузырьках или взвеси, его исключение производилось по следующей формуле

$$R_{rs}(\lambda) = R_{rs}(\lambda) - \text{median}(R_{rs}(750:850)) \quad (3.9.3)$$

Сигнал больше 900 нм имеет большие ошибки и нами не рассматривается. Наличие “плато” в диапазоне 750 – 850 нм являлось одним из критериев качества измеренного спектра.

Вся процедура определения одного спектра отражательной способности моря составляла около 10 минут. Для контроля условий освещенности проводились непрерывные записи фотосинтетически активной радиации PAR (интегральный сигнал солнечной освещенности в диапазоне 400 – 700 нм). В случае больших вариаций сигнала PAR полученные данные из дальнейшего рассмотрения исключались.

Корректировка полученных данных на углы наблюдения, нормальные к морской поверхности проводилась в соответствии с протоколами НАСА.

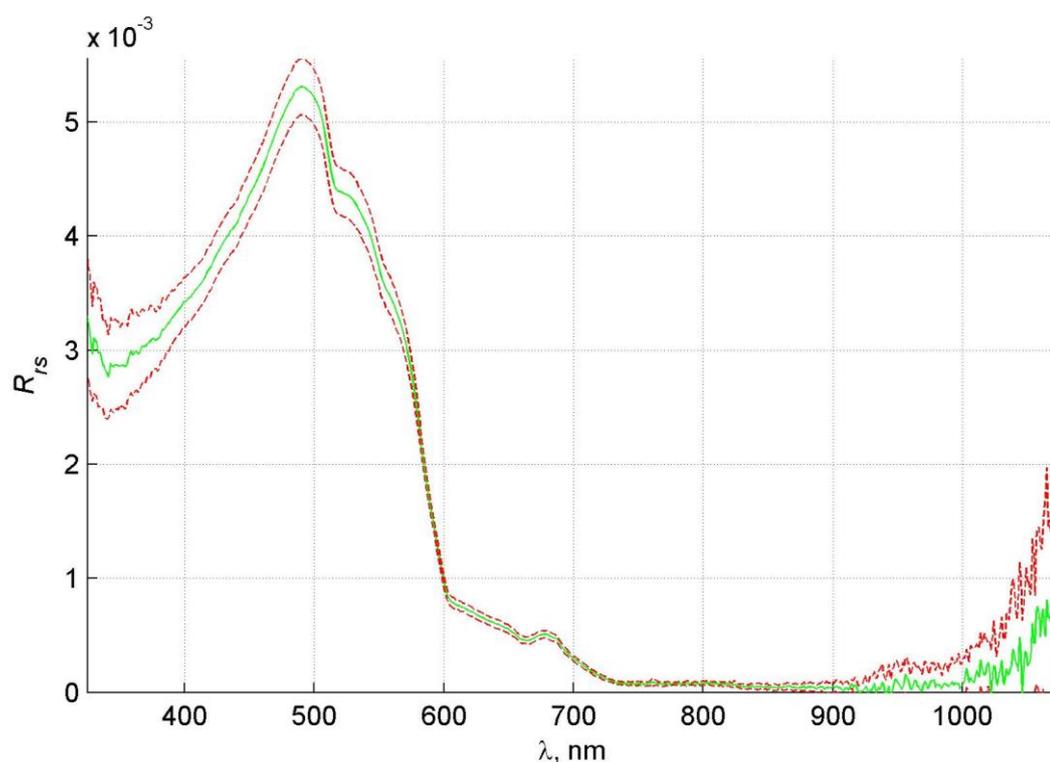


Рисунок 3.9.2 – Спектр отражательной способности морской поверхности.

Для радиометрических измерений использовался ручной гиперспектральный спектрофотометр (пр-во ASD) со световодом, позволяющим проводить измерения под водой. Спектральный диапазон 325 – 1075 нм с разрешением 1 нм. В комплект входят надводные объективы для измерения яркости с углами обзора 10° и 2° , подводный объектив для

измерения яркости с углом обзора 5° и подводный объектив для измерения освещенности.

Всего было получено 100 спектров отражательной способности, удовлетворяющим критериям качества. Маршрут судна, на котором проводились измерения, представлен на рисунке 3.9.3.

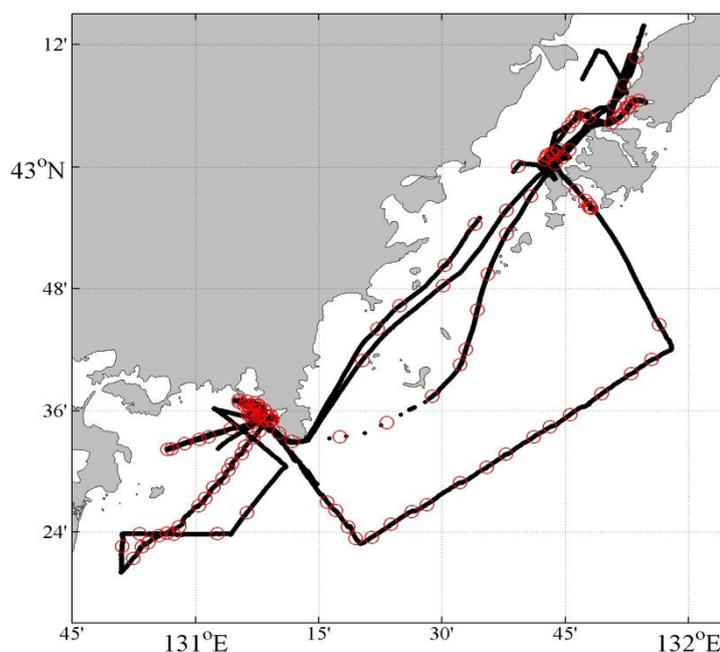


Рисунок 3.9.3 – Пространственное распределение точек, где проводились измерения спектров отражательной способности морской воды.

В качестве модельного выражения коэффициента яркости моря через оптические характеристики среды использована формула:

$$R_{rs}^m = \frac{\pi \cdot G}{a} \left[\frac{b_{bw}}{3.4} + X \left(\frac{400}{\lambda} \right)^Y \right] \quad (3.9.4)$$

где X и Y – спектральные константы и a – полный коэффициент абсорбции морской воды, значение которого описывается суммой модельных значений коэффициентов абсорбции чистой воды a_w , пигментов фитопланктона a_{ph} , детритов и РОВ a_g ; b_{bw} – коэффициент обратного рассеяния морской воды и $G = 0.176$. Индекс “m” у R_{rs}^m означает модельный расчет коэффициента яркости моря.

Моделирование абсорбционных характеристик морской воды осуществлялось с помощью формулы для a_g и табличных значений для a_w [44]:

$$a_g(\lambda) = a_g(440) \cdot \exp\{-s_g \cdot (\lambda - 440)\} \quad (3.9.5)$$

Для описания коэффициента абсорбции пигментами фитопланктона использовалась модель :

$$a_{ph}(\lambda, C_{Chl}) = A(\lambda) \cdot C_{Chl}^{1-B(\lambda)} \quad (3.9.6)$$

где C_{Chl} – концентрация хлорофилла «а» и $A(\lambda)$ и $B(\lambda)$ были получены путем сплайновой интерполяции протабулированных в статье значений.

Описание рассеивающих свойств чистой морской воды выполнено в рамках модельной функции, задаваемой выражением :

$$b_{bw} = 0.0038 \left(\frac{400}{\lambda}\right)^{4.3} \quad (2.9.7)$$

Подстановка модельных функций в (3.9.4) позволяет увидеть, что коэффициент яркости моря является функцией пяти параметров: a_g , S , X , Y и C_{Chl} .

Сходимость решения во многом зависит от выбора начальных значений и диапазона поиска искомых параметров. При их оценке использовались различные регрессионные соотношения между a_g , S , X , Y , C_{Chl} и $R_{rs}(\lambda)$. Границы области начальных значений концентрации хлорофилла «а» определялись как минимальное и максимальное значение концентрации хлорофилла «а», получаемые при использовании различных алгоритмов сине-зеленого отношения, используемых NASA в спутниковом зондировании. Область изменчивости величины Y оценивалась с использованием регрессионных соотношений, предложенных [45]:

$$0.9[0.86+1.2\ln(\chi)] < Y < 1.1[0.86+1.2\ln(\chi)], \quad (3.9.8)$$

где $\chi = R_{rs}(440)/R_{rs}(490)$.

Для расчета области изменчивости a_g использовалась эмпирическая зависимость между концентрацией хлорофилла «а» и a_g [46]:

$$\text{Log}[a_g(440)] = -1.20 + 0.47\log(C_{\text{chl}}) \quad (3.9.9)$$

Подстановка в это уравнение предельных значений концентрации хлорофилла «а», найденных ранее, позволяет определить диапазон изменчивости a_g . Величина S лежит в узких пределах 0.011-0.016, достигая в редких случаях величины 0.02. Для начальных значений величины X принято условие $X > 0$.

Каждый диапазон начальных значений был разбит на пять точек для каждого неизвестного параметра. Таким образом, было получено $5^5 = 3125$ набора начальных условий. Далее параметры оценивались алгоритмом оптимизации Trust Region. Из полученных соответствующих 3125 решений выбирались только те, у которых параметр R^2 был больше 0.99. Обычно таких решений набиралось около 60%. На рисунке 10 представлен пример исходного и модельного спектров.

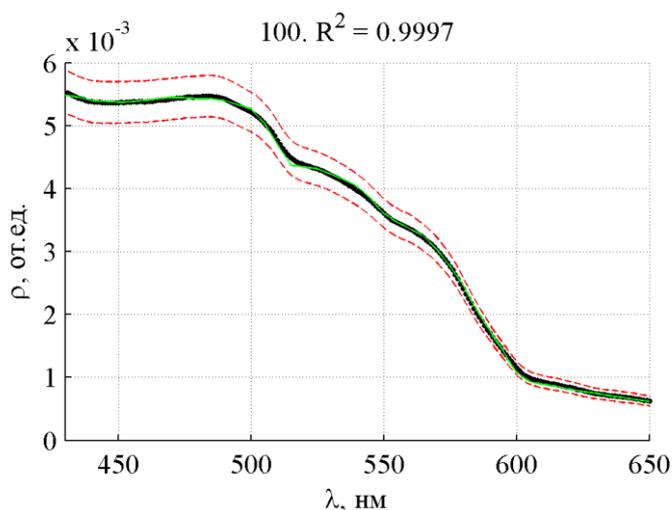


Рисунок 3.9.4 – Реальный (черная линия) и модельный (зеленая линия) спектр отражательной способности морской воды.

Для того чтобы из всех «удачных» решений (у которых $R^2 > 0.99$) выбрать «правильные» (совпадающие с подспутниковыми данными). Было проведено сравнение распределений концентрации хлорофилла-а, восстановленной из

спектров отражательной способности, с реально умеренными значениями концентрации хлорофилла-а, полученными из данных глубинного зондирования с помощью профилографа SBE19-plus. На рисунке 3.9.5 показано распределение «удачных» значений концентрации хлорофилла-а (синяя линия) и выделен диапазон «правильных» значений, соответствующих контактному измерению (заштрихованная область).

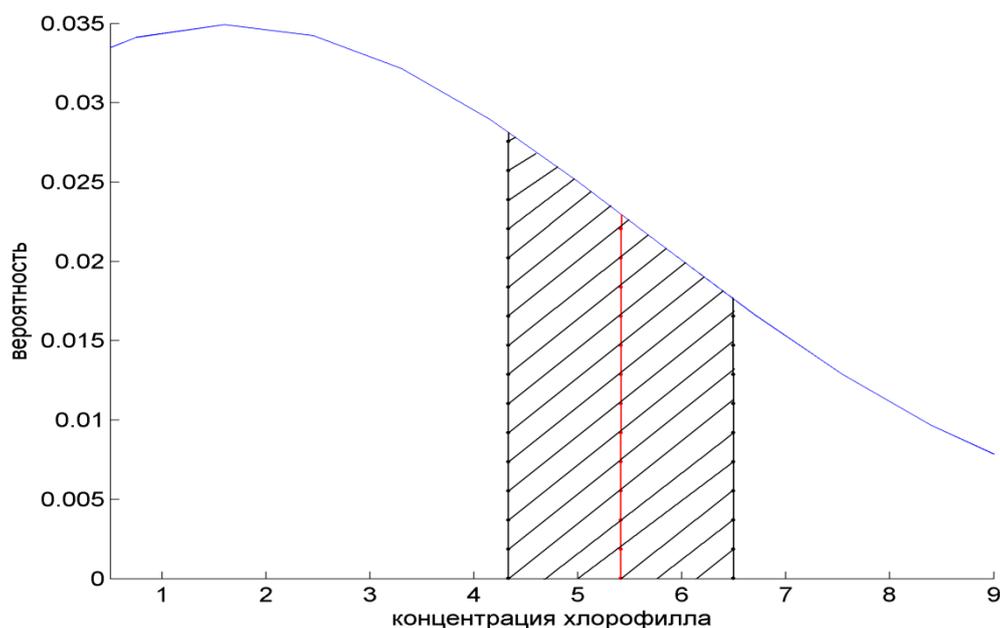


Рисунок 3.9.5 – Сравнение модельных значений концентрации хлорофилла-а, полученных при разных начальных условиях, (синяя линия) с реальным значением концентрации хлорофилла-а (заштрихованная область).

Далее были выбраны такие диапазоны начальных условий, при которых получались реальные значения концентрации хлорофилла-а. На рисунке 3.9.6 представлены гистограммы «правильных» начальных условий.

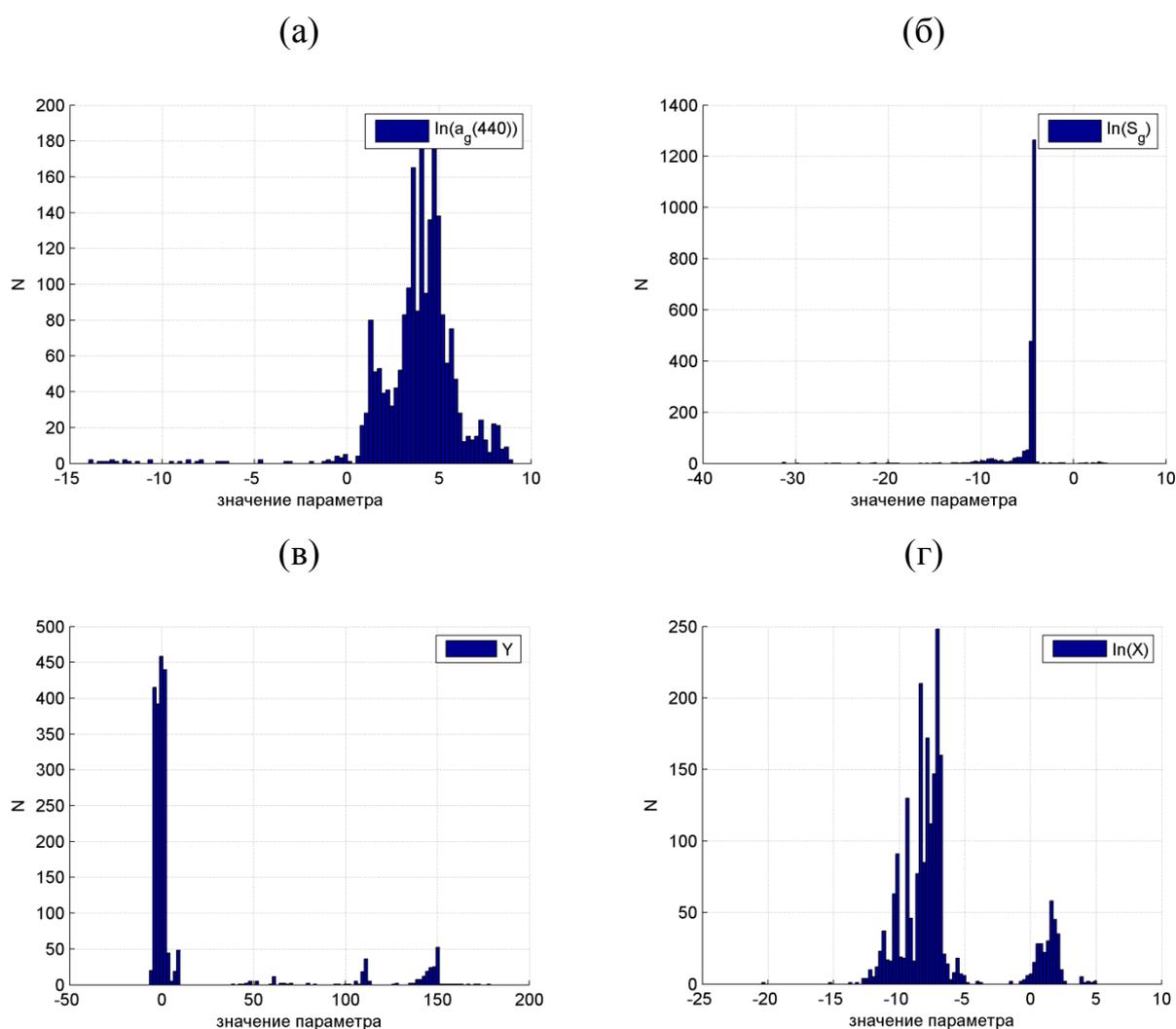


Рисунок 3.9.6 – Диапазон начальных условий, приводящих к правильным значениям искоемых параметров.

Таким образом, для запуска процедуры поиска неизвестных коэффициентов уравнения (3.9.4) необходимо использовать наиболее вероятные значения гистограмм на рисунке 3.9.6. в качестве начальных условий и 5% и 95% квантили гистограмм в качестве граничных условий.

3.10 Пополнение методологической базы УСУ "ЛаМИ"

3.10.1 Унифицированная программа обработки данных лазерного зондирования "LidarProcessor"

Для обработки результатов лазерного зондирования атмосферы было разработано программное обеспечение, позволяющее проводить обработку сигналов упругого рассеяния и комбинационного рассеяния.

Имеется возможность:

1. восстановления вертикальных профилей коэффициентов обратного аэрозольного рассеяния, экстинкции и лидарного отношения по сигналу упругого рассеяния с привлечением данных об аэрозольной оптической толщине, полученных на фотометре;
2. восстановления вертикального распределения коэффициента аэрозольной экстинкции по сигналам комбинационного рассеяния на азоте;
3. восстановление вертикального распределения концентрации озона по методу дифференциального поглощения и проведение аэрозольной коррекции с использованием результатов обработки сигналов упругого рассеяния.

Используемые в программе алгоритмы:

1. Алгоритм Клета;
2. Итерационный алгоритм обработки сигналов упругого рассеяния с привязкой на оптическую толщину;
3. Алгоритм восстановления коэффициента экстинкции по сигналу комбинационного рассеяния азота;
4. Алгоритм восстановления концентрации озона по методу дифференциального поглощения.

Анализ сигналов упругого рассеяния:

На рисунке 3.10.1.1 представлен вид окна подпрограммы для обработки сигналов упругого рассеяния. Синим цветом отмечены поля, значения которых пользователь может менять. Красным овалом отсечены столбцы, значения которых задают используемый алгоритм расчета:

Если в поле Iterative? не стоит галочка, то будет использоваться алгоритм Клета. Априорная зависимость между коэффициентами обратного рассеяния и

экстинкции задается полем Lidar Ratio, значения поля AOT вычисляются на основании введенных данных автоматически. Если поле Iterative? отмечено птичкой, то используется итерационный алгоритм. В этом случае для калибровки используется поле AOT, значения Lidar Ratio получаются по окончании работы алгоритма.

#	Iterative?	Start Date	Accumulation	Wavelength	Min Altitude	Max Altitude	Background from	Smooth Method	Smooth parameter #1	Smooth parameter #2	Reference point	Reference value	Lidar Ratio	AOT
1	<input type="checkbox"/>	01.05.2009 0:04:45	30 000	1 064.00	200.00	29 188.88	20 000.00	Min Avg	5	5	25 000.00	1.00E+000	50.00	0.30
2	<input type="checkbox"/>	01.05.2009 0:04:45	30 000	532.00	200.00	29 188.88	20 000.00	Min Avg	5	5	25 000.00	1.00E+000	50.00	0.30
3	<input type="checkbox"/>	01.05.2009 0:04:45	30 000	355.00	200.00	29 188.88	20 000.00	Min Avg	5	5	25 000.00	1.00E+000	50.00	0.30
4	<input type="checkbox"/>	01.05.2009 20:00:23	30 000	1 064.00	200.00	29 188.88	20 000.00	Min Avg	5	5	25 000.00	1.00E+000	50.00	0.30
5	<input type="checkbox"/>	01.05.2009 20:00:23	30 000	532.00	200.00	29 188.88	20 000.00	Min Avg	5	5	25 000.00	1.00E+000	50.00	0.30
6	<input type="checkbox"/>	01.05.2009 20:00:23	30 000	355.00	200.00	29 188.88	20 000.00	Min Avg	5	5	25 000.00	1.00E+000	50.00	0.30
7	<input type="checkbox"/>	02.05.2009 0:07:16	30 000	1 064.00	200.00	29 188.88	20 000.00	Min Avg	5	5	25 000.00	1.00E+000	50.00	0.30
8	<input type="checkbox"/>	02.05.2009 0:07:16	30 000	532.00	200.00	29 188.88	20 000.00	Min Avg	5	5	25 000.00	1.00E+000	50.00	0.30
9	<input type="checkbox"/>	02.05.2009 0:07:16	30 000	355.00	200.00	29 188.88	20 000.00	Min Avg	5	5	25 000.00	1.00E+000	50.00	0.30
10	<input type="checkbox"/>	02.05.2009 20:06:56	30 000	1 064.00	200.00	29 188.88	20 000.00	Min Avg	5	5	25 000.00	1.00E+000	50.00	0.30
11	<input type="checkbox"/>	02.05.2009 20:06:56	30 000	532.00	200.00	29 188.88	20 000.00	Min Avg	5	5	25 000.00	1.00E+000	50.00	0.30
12	<input type="checkbox"/>	02.05.2009 20:06:56	30 000	355.00	200.00	29 188.88	20 000.00	Min Avg	5	5	25 000.00	1.00E+000	50.00	0.30
13	<input type="checkbox"/>	03.05.2009 0:04:34	30 000	1 064.00	200.00	29 188.88	20 000.00	Min Avg	5	5	25 000.00	1.00E+000	50.00	0.30
14	<input type="checkbox"/>	03.05.2009 0:04:34	30 000	532.00	200.00	29 188.88	20 000.00	Min Avg	5	5	25 000.00	1.00E+000	50.00	0.30
15	<input type="checkbox"/>	03.05.2009 0:04:34	30 000	355.00	200.00	29 188.88	20 000.00	Min Avg	5	5	25 000.00	1.00E+000	50.00	0.30
16	<input type="checkbox"/>	03.05.2009 22:34:00	30 000	1 064.00	200.00	29 188.88	20 000.00	Min Avg	5	5	25 000.00	1.00E+000	50.00	0.30

Рисунок 3.10.1.1 Вид окна подпрограммы для обработки сигналов упругого рассеяния.

На следующем рисунке представлен график, отражающий вертикальное распределение коэффициента обратного рассеяния.

Iterative? – выбор алгоритма обработки

MinAltitude – Нижняя граница профиля

MaxAltitude – верхняя граница профиля

Background from – откуда проводить расчет шума

Smooth Method – метод сглаживания : скользящее среднее или B-Splines

Smooth parameter #1 – параметры сглаживания

Smooth parameter #2 - параметры сглаживания

Reference point – точка привязки

Reference value – значение привязки

Lidar ratio – лидарное отношение

АОТ – оптическая толщина

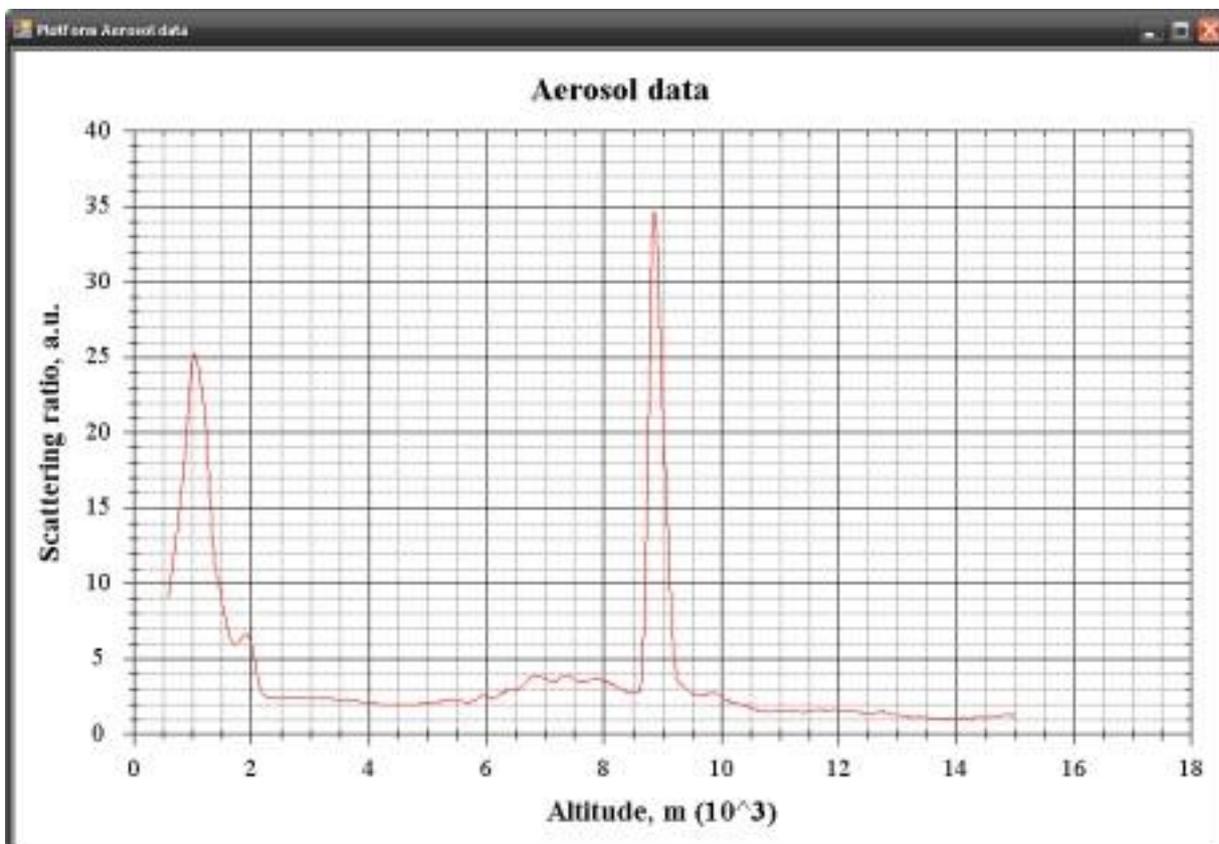


Рисунок 3.10.1.2 Вид графического окна выходных данных.

Нажатие на одну из этих кнопок выполняет сохранение обработанных данных в XML и Excel форматах.

Анализ сигналов КР азота:



Рисунок 3.10.1.3 Вид окна программы расчета микрофизических характеристик аэрозоля с использованием каналов комбинационного рассеяния.

Zenith Angle – зенитный угол зондирования

MinAltitude – Нижняя граница профиля

MaxAltitude – верхняя граница профиля

Angstrom – параметр ангстрема

Background from – откуда проводить расчет шума

Smooth Method – метод сглаживания : скользящее среднее или B-Splines

Smooth parameter #1 – параметры сглаживания

Smooth parameter #2 - параметры сглаживания

Здесь имеется возможность усреднения нескольких профилей. После указания всех основных параметров расчета получаем вертикальное распределение коэффициента аэрозольной экстинкции.

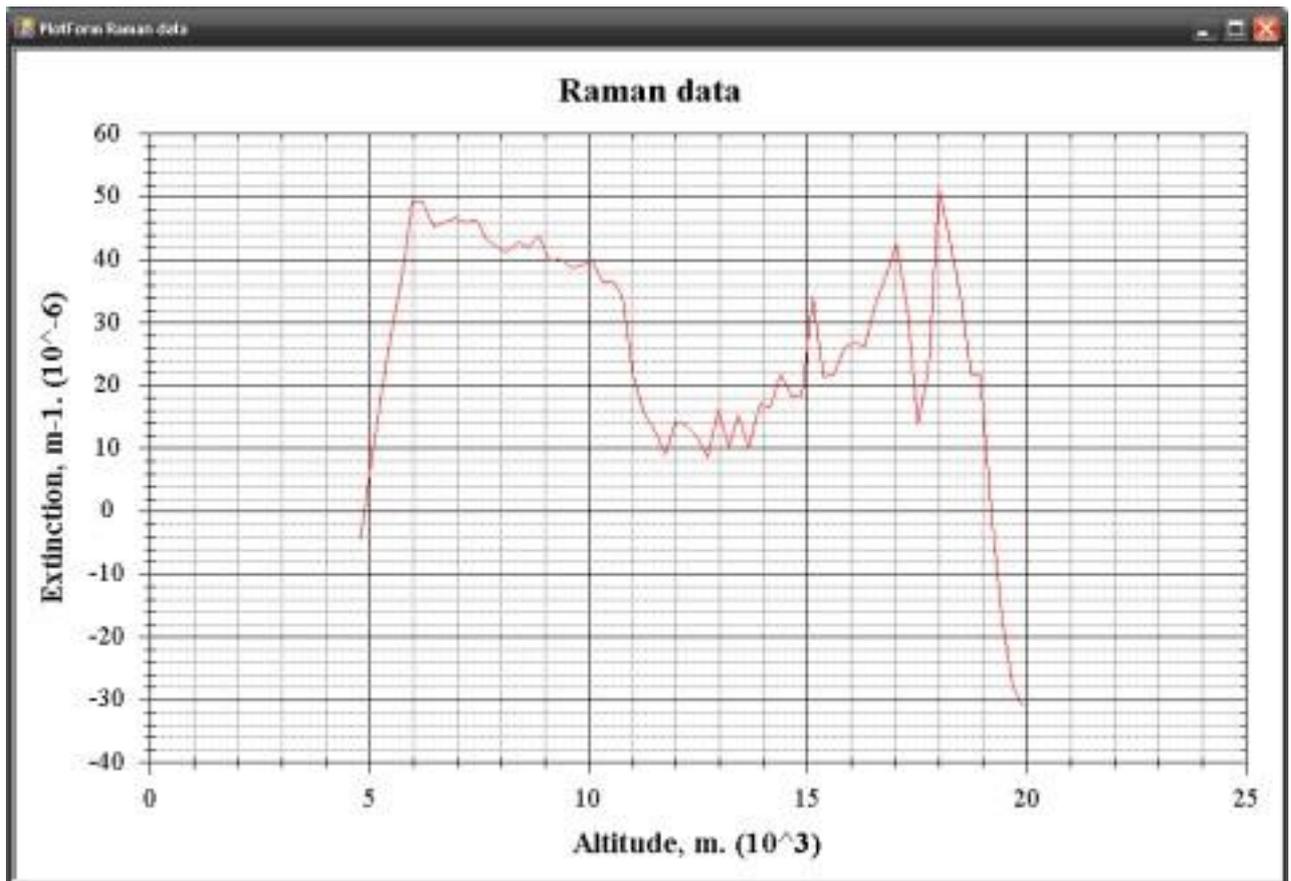


Рисунок 3.10.1.4 Результат работы программы по восстановлению профиля экстинкции

Восстановление концентрации озона



#	Wavelength	High	Min Altitude	Max Altitude	Concentration	Molecular Correction	Aerosol Correction	Angstrom Coefficient	Background from	Smooth Method	Smooth Param #1	Smooth Param #2
1	306.00	<input checked="" type="checkbox"/>	18 000.00	40 000.00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.00	70 000.00	Mov Avg	5	5
2	353.00	<input checked="" type="checkbox"/>	18 000.00	40 000.00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.00	70 000.00	Mov Avg	5	5
3	306.00	<input type="checkbox"/>	9 000.00	20 000.00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.00	70 000.00	Mov Avg	5	5
4	353.00	<input type="checkbox"/>	9 000.00	20 000.00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.00	70 000.00	Mov Avg	5	5

Рисунок 3.10.1.5 Панель программы для восстановления концентрации озона

MinAltitude – Нижняя граница профиля

MaxAltitude – верхняя граница профиля

Concentration – концентрация или экстинкция

Molecular correction – молекулярная коррекция

AerosolCorrection – коррекция на атмосферный аэрозоль

Angstrom coefficient – параметр ангстрема

Background from – откуда проводить расчет шума

Smooth Method – метод сглаживания : скользящее среднее или B-Splines

Smooth parameter #1 – параметры сглаживания

Smooth parameter #2 - параметры сглаживания

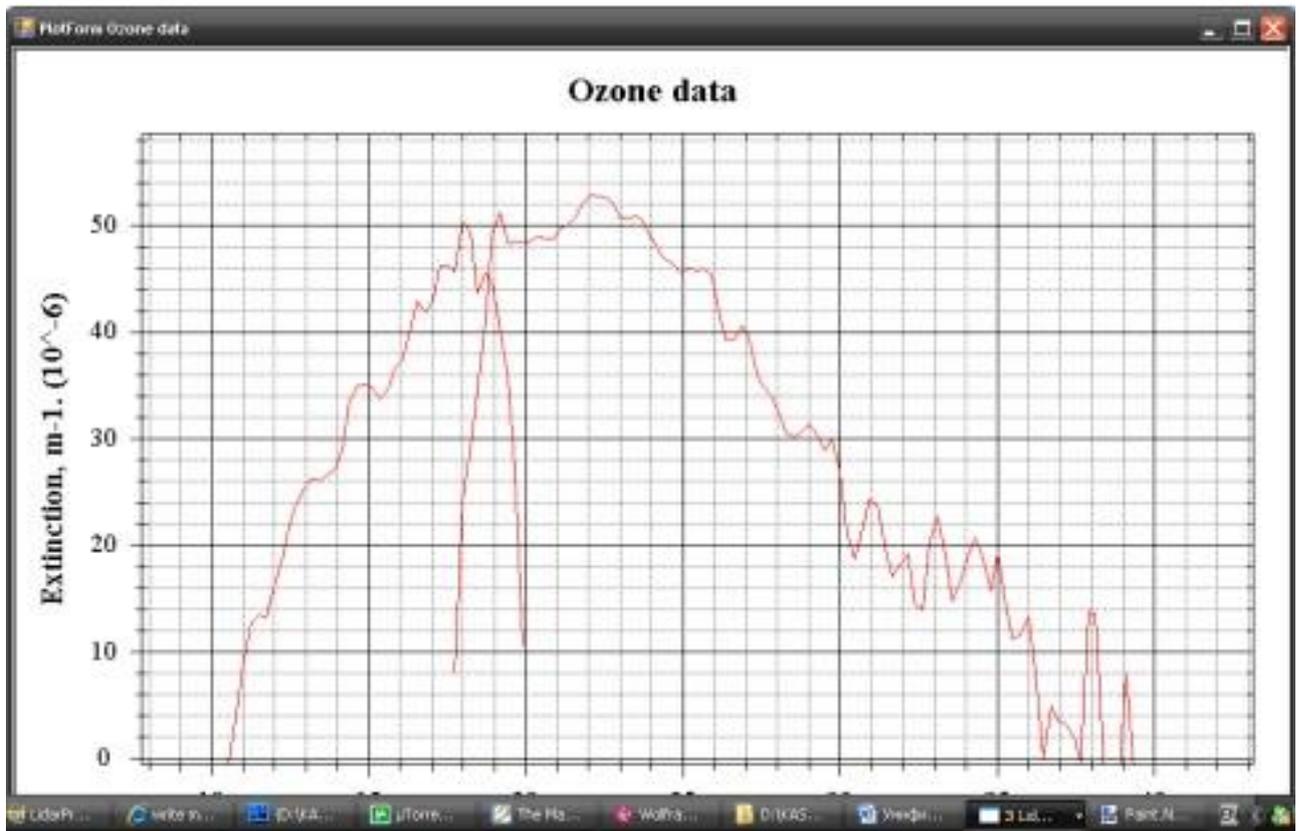


Рисунок 3.10.1.6 Пример восстановленной экстинкции озона

3.10.2 Вычислительная система автоматического расчета биопараметров моря

Для эксплуатации комплекса SeaDAS на трех компьютерах была установлена и настроена операционная система Linux на ядре Fedora Core. В процессе опытной эксплуатации SeaDAS были выявлены определенные трудности: использование SeaDAS требует от оператора-обработчика не только знаний функциональных возможностей самого ПО, но и умения работать в командной оболочке Linux. При работе с SeaDAS в режиме потока значительное время уходит на повторение одних и тех же действий для каждого обрабатываемого файла, так как обработка каждого файла представляет собой последовательный вызов отдельных утилит с заданием параметров для каждой из них.

Чтобы разрешить вышеуказанные трудности, был создан комплекс программ для удаленного запуска SeaDAS под управлением внешней программы и пользовательская графическая оболочка «SeaDAS launcher», упрощающая задание параметров обработки. Кроме этого был разработан механизм автоматического запуска SeaDAS для обработки данных MODIS, вновь принятых либо взятых из архива Центра. На основе этого механизма реализовано ПО, которое используется для круглосуточной поставки обработанных данных пользователям УСУ.

Таблица 3.10.2.1

Назначение каналов радиометра MODIS.

Основной предмет изучения	№ спектрального канала	Пространственное разрешение, м	Спектральный диапазон, мкм
Границы суши, облачности, аэрозолей	1	250	0.620 - 0.670
	2	250	0.841 - 0.876
Свойства объектов суши, облаков и аэрозолей	3	500	0.459 - 0.479
	4	500	0.545 - 0.565
	5	500	1.230 - 1.250
	6	500	1.628 - 1.652
	7	500	2.105 - 2.155
Цвет океанической воды, содержание фитопланктона, биогеохимические характеристики	8	1000	0.405 - 0.420
	9	1000	0.438 - 0.448
	10	1000	0.483 - 0.493
	11	1000	0.526 - 0.536
	12	1000	0.546 - 0.556
	13	1000	0.662 - 0.672
	14	1000	0.673 - 0.683
	15	1000	0.743 - 0.753
Водяной пар в атмосфере	16	1000	0.862 - 0.877
	17	1000	0.890 - 0.920
	18	1000	0.931 - 0.941
Температура земной поверхности и облаков	19	1000	0.915 - 0.965
	20	1000	3.660 - 3.840
	21	1000	3.929 - 3.989
	22	1000	3.929 - 3.989
Температура атмосферы	23	1000	4.020 - 4.080
	24	1000	4.433 - 4.498
Водяной пар в атмосфере	25	1000	4.482 - 4.549
	26	1000	1.360 - 1.390
	27	1000	6.535 - 6.895
Свойства облаков	28	1000	7.175 - 7.475
	29	1000	8.400 - 8.700
Озоновый слой	30	1000	9.580 - 9.880
Температура земной поверхности и облаков	31	1000	10.780 - 11.280
	32	1000	11.770 - 12.270
Верхняя граница облаков	33	1000	13.185 - 13.485
	34	1000	13.485 - 13.785
	35	1000	13.785 - 14.085
	36	1000	14.085 - 14.385

Реализация удаленного запуска SeaDAS

Основной программой является скрипт SeaDAS.php, запускаемый на управляющем компьютере под управлением ОС Windows (Рисунок 3.10.2.1).

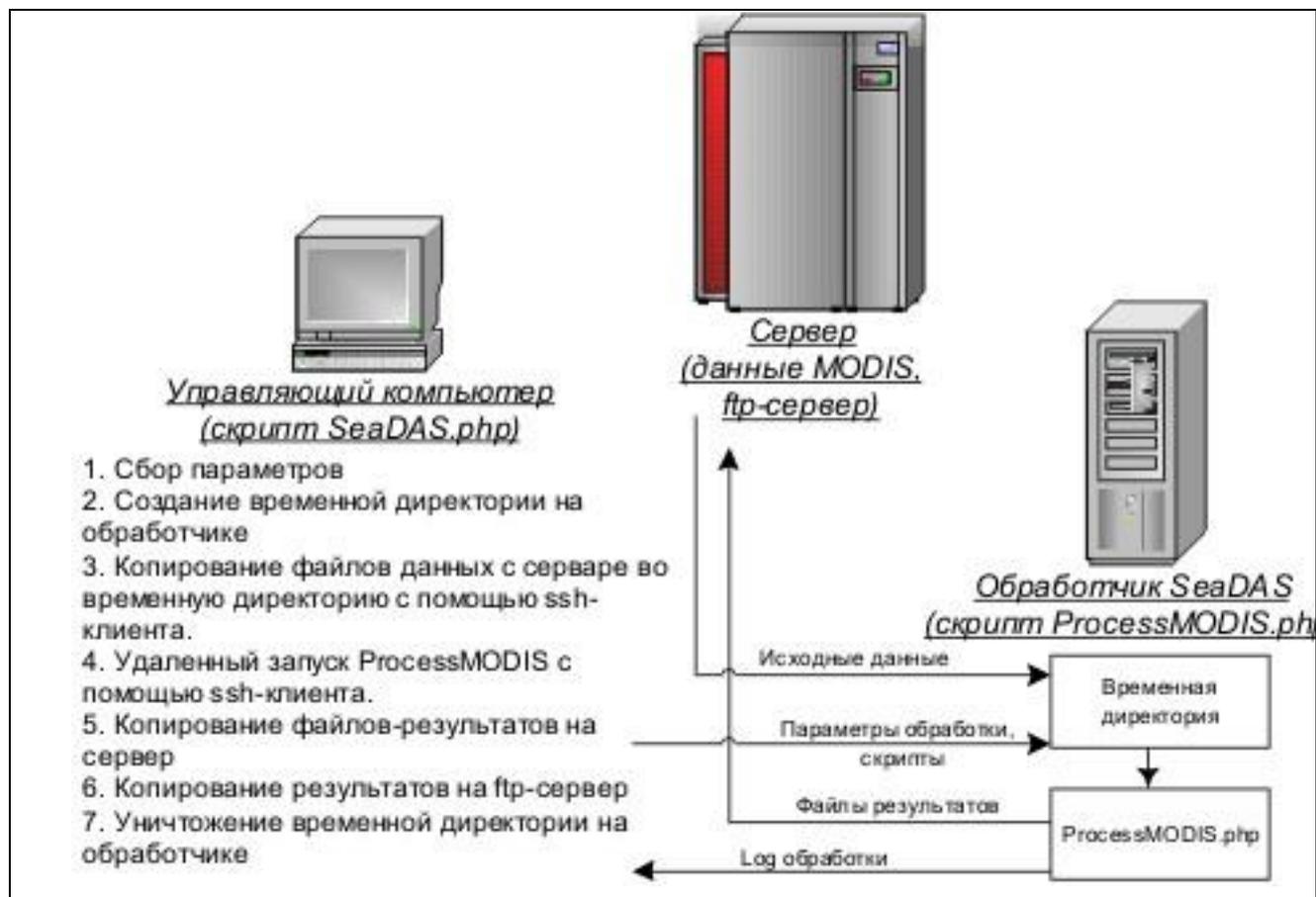


Рисунок 3.10.2.1 Схема удаленного управления комплексом SeaDAS.

На вход ему подаются необходимые параметры для выполнения обработки (Таблица 3.10.2).

SeaDAS.php генерирует скрипт launcherFileName, в котором реализован запуск ProcessMODIS.php, в свою очередь управляющего утилитами пакета SeaDAS. После этого SeaDAS.php создает временную директорию на компьютере-обработчике, в которую копирует исходные данные, конфигурационные файлы (файл PDSFileName, файлы prodFileName и HDFLookCFGFileName), обрабатывающие утилиты.

Таблица 3.10.2 Ключевые параметры системы обработки MODIS

ComputerName	Имя удаленного компьютера/обработчика
PDSFileName	Полное имя входного PDS-файла, без кавычек
ResultDir	Каталог результатов, задан без кавычек, на конце один слэш
DispatcherName	Имя диспетчера, который вызвал данный скрипт. Если не требуется, равно NULL
launcherFileName	Полное имя файла скрипта, запускающего process_modis, который будет сгенерирован
ProcessingLogFileName	Полное имя файла, без кавычек, в конец которого будет записана строка с отчетом об обработке
LastLogStringFileName	Полное имя файла, без кавычек, в который будет записана строка с отчетом об обработке
msl12ParFileName	Полное имя файла параметров для msl12, без кавычек
regionName	Имя региона, если NULL - не вырезаем регион
lonMin, lonMax, latMin, latMax	Минимальная/максимальная широта/долгота региона, если 0 - не вырезаем регион
prodFileName	Полное имя файла со списком продуктов для msl12, если NULL, то не запускаем msl12
projRes	Разрешение проекции (сек), игнорируется, если не задан регион
prjType	1 - mercator, 2 - equidistance, игнорируется, если не задан регион
HDFLookCFGFileName	Имя файла с параметрами для вызова программы HDFLook, используемой для построения обзорных изображений. Если NULL, то HDFLook не вызывается
IsUseAquaMain	1 - Попытаться использовать aqua_main для получения att и eph из gdb, 0 - не пытаться. В этом случае process_modis.php будет вызываться с параметром aquaMainCFGFileName равным NULL
aquaMainCFGFileName	Имя файла с параметрами для вызова aquaMain, если NULL, то aquaMain не вызывается
IsCreateSubDir	1 - создавать поддиректорию с именем PDS в папке с результатами 0 - не создавать
RetainResString	Список расширений файлов, которые не удаляются после завершения обработки, например '11b_lac,11b_hkm,11b_qkm,l2'

Доступ к этому компьютеру для обмена данными и запуска программ реализован средствами протокола ssh. Далее SeaDAS.php удаленно запускает скрипт ProcessMODIS.php посредством вызова launcherFileName. ProcessMODIS.php последовательно вызывает утилиты из комплекса SeaDAS: построение файла Level-1A и GEO-файла, выделение из исходного файла Level-1A нужного региона, построение для региона калиброванного файла формата Level-1B, генерация файла уровня Level-2A с заданным набором продуктов (таблица 3.10.2.3).

Таблица 3.10.2.3.

Форматы данных MODIS уровней PDS - Level 2A.

Название формата	Описание
Level 0	Данные в виде последовательностей исходных пакетов MODIS, без каких-либо дополнений. Записываются на диск приемной программой.
Level 1A	Результат распаковки файлов формата Level 0. Никакой обработки не производится.
Level 1B	Откалиброванные и привязанные данные формата Level 1A. На уровне Level-1B данные MODIS разделяются на 4 продукта (все имеют префикс MOD02). Пример: <u>MOD021KM</u> .A0601250305.hdf - данные всех 38 каналов, приведенные к разрешению 1 км <u>MOD02HKM</u> .A0601250305.hdf - данные 1 – 7 каналов, приведенные к разрешению 500 м <u>MOD02QKM</u> .A0601250305.hdf - данные 1 и 2 каналов с разрешением 250 м <u>MOD02OVC</u> .A0601250305.hdf - бортовые калибровочные данные
GBAD	Ground Based Attitude Determination Выделяется из общего потока AQUA, пишется в файл с расширением GBD. Может использоваться для оперативной географической привязки.
Level 2A	Файл, содержащий результаты тематической обработки: карты хлорофилла, SST и т.п.

Кроме файла результатов обработки Level-2A, ProcessMODIS.php генерирует обзорные RGB-изображения, используя для этого свободно-распространяемое ПО HDFLook (<http://www-loa.univ-lille1.fr/Hdf/>). Полученные файлы перемещаются в каталог результатов на сервере и в директории на ftp, откуда их могут забрать пользователи.

Данный набор программ избавляет оператора-обработчика от необходимости последовательно вручную запускать утилиты SeaDAS, а также экономит время пользователя за счет автоматической подстановки тех параметров обработки, которые не меняются при каждом запуске.

Пользовательская оболочка «SeaDAS launcher» и программа визуализации «Glance»

Для удобства задания параметров обработки и запуска управляющей программы была разработана графическая оболочка «SeaDAS launcher», установленная на управляющем компьютере (Рисунок 2.10.2). Интерфейс SeaDAS launcher позволяет в одном диалоговом окне задать все необходимые параметры обработки: имя исходного файла, директорию для результатов, географический регион, список требуемых продуктов и т.п.

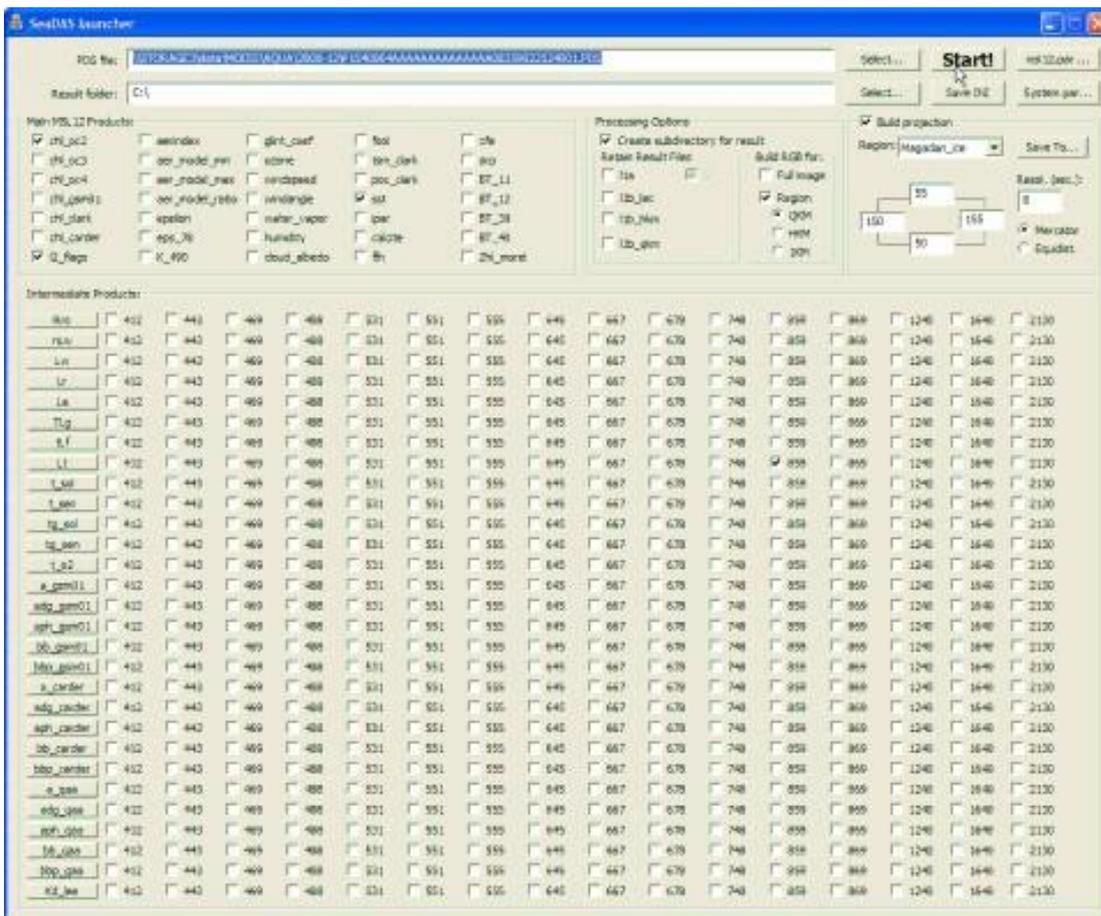


Рисунок 3.10.2.2. Главное окно программы SeaDAS launcher.

После того, как файлы, содержащие карты распределения заданной продукции поступили в каталог результатов, они преобразуются в проекции стандартного формата Центра. Пользователи через сайт Центра могут загрузить программу Glance для визуализации и преобразования данных в общеупотребительные растровые форматы (<http://satellite.dvo.ru/contentid-18.html>), (рисунок 2.10.2.3).

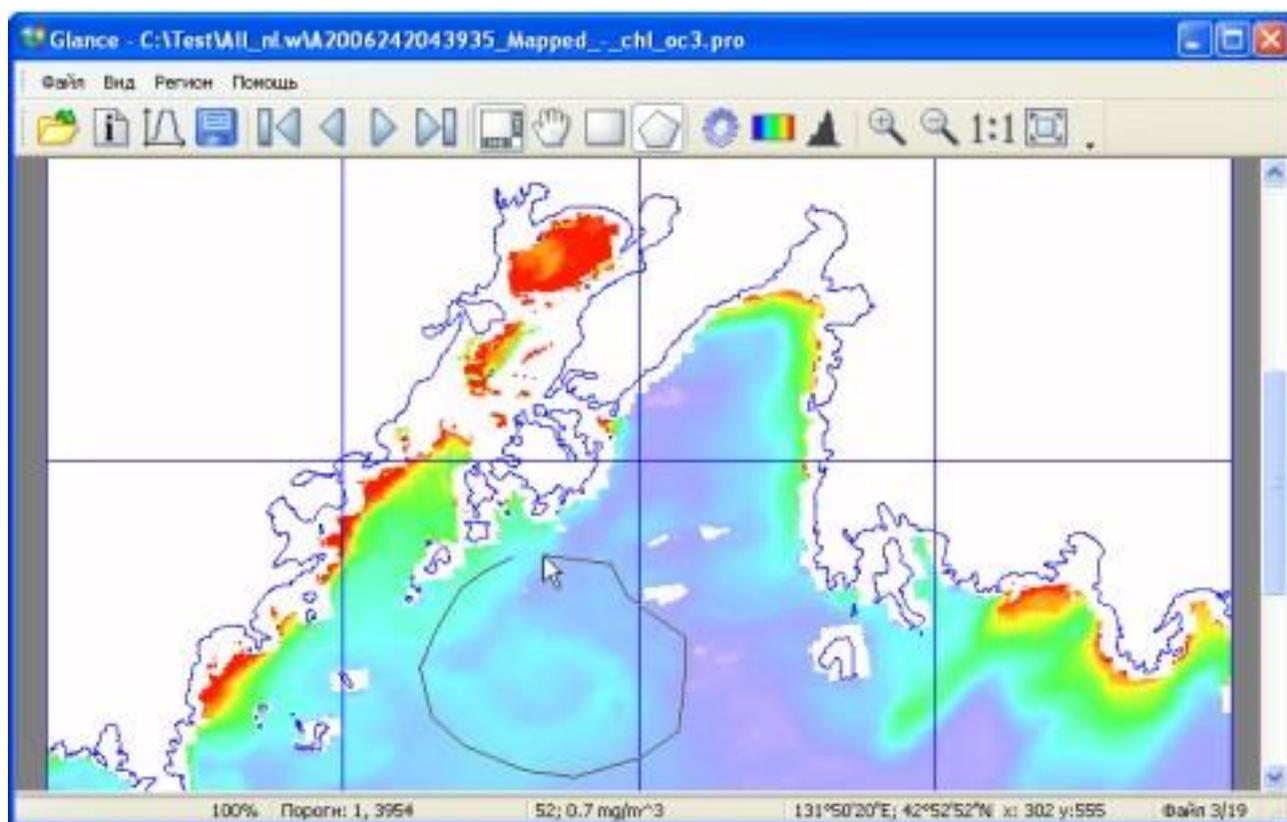


Рисунок 3.10.2.3. Внешний вид главного окна программы визуализации Glance.

Программа была адаптирована для работы с продукцией обработки данных радиометра MODIS:

- созданы средства распознавания различных видов продукции программы SeaDAS;
- добавлен набор палитр IDL - можно выбирать нужную палитру вместо стандартной GrayScale;

- реализована возможность чтения и записи палитр в текстовый файл, предпросмотр палитр;
- добавлена возможность накладывать шкалу на сохраняемое изображение - задается тип расположения шкалы, вид и размер шрифта для засечек;
- реализован консольный режим сохранения файла данных в растровый формат для возможности получения обзорных изображений в автоматическом режиме.

Автоматизация обработки

Производящийся в УСУ круглосуточный спутниковый мониторинг подразумевает построение полей распределения ТПО, хлорофилла-а и других востребованных продуктов тематической обработки по каждому принятому изображению и для каждого региона интереса (Японское море, Охотское море и т.д.). Таким образом, возникает потребность автоматизировать запуск самого SeaDAS.php, чтобы он вызывался сразу же после появления очередного файла MODIS, выполнял для него стандартный набор процедур обработки, а полученные проекции размещались бы на ftp-сервере, откуда их смогут забрать пользователи.

Принятые исходные данные спутников Aqua и Terra автоматически переносятся в сетевые директории <\\STORAGE3\data\AQUA> и <\\STORAGE3\data\TERRA> соответственно. Внутри этих директорий файлы располагаются в поддиректориях, имя которых состоит из года и месяца, например «2008-03». Для каждого сеанса приема Aqua приемная программа записывает на диск 4 файла с расширением PDS, например:

1) P1540957AAAAAAAAAAAAAAAAA08051060146001.PDS L0 GBAD
Packet file

2) P1540957AAAAAAAAAAAAAAAAA08051060146000.PDS L0 GBAD
Construction record

3) P1540064AAAAAAAAAAAAAAAAA08051060146001.PDS L0 MODIS
Packet file

4) P1540064AAAAAAAAAAAAAAAAA08051060146000.PDS L0 MODIS
Construction record

Основной поток данных содержится в файле (3). При обработке Aqua может понадобиться файл (1), содержащий служебный поток «Ground Based Attitude Determination», с помощью которого можно сгенерировать файлы .att и .eph, если они еще не выложены на ftp-сервере NASA. Во время приема Terra приемное ПО генерирует только два файла (3,4), так как Terra содержит поток GBAD в основном потоке данных. Таким образом, доступ к файлам MODIS производится по имени сетевого ресурса, имени поддиректории и имени файлов данных (двух для Aqua и одного для Terra).

Обрабатывающая программа SeaDAS.php отмечает стадии обработки каждого файла добавлением соответствующей записи в базу данных обработки. Программа, запускающая обработку (диспетчер обработки), обращается к БД, чтобы определить, какие еще файлы необходимо обработать. Ключевые поля этой БД приведены в Таблице 3.10.2.4.

Каждый диспетчер поочередно обращается к БД за списком файлов MODIS, для которых еще не выполнена обработка по заданному региону. Из полученного списка выбирается самый «свежий» файл, который и подается на обработку программе SeaDAS.php. Для диспетчера задается отдельный набор параметров обработки (см. Таблицу 3.10.2.2), таким образом, при обработке учитывается специфика каждого региона. После того, как обработка будет завершена, диспетчер вызывает специальную программу, которая скопирует полученные результаты обработки в соответствующие директории на ftp-сервере Центра.

С результатами обработки, представленными в формате Level 2A, а также в формате ЦКП (используя ПО «Glance») и в виде обзорных изображений (для

хлорофилла и карт ТПО) можно ознакомиться по ссылке <ftp://ftp.satellite.dvo.ru/pub/MODIS/PROJ/>.

Таблица 3.10.2.4.

Параметры, описывающие проведенную обработку

Параметр = пример значения	Описание параметра
PDSFileName= M:\MODIS\AQUA\ P1540064AAAAAAAAAAAAAAAAA08051060146001.PDS	Полное имя обработанного PDS. Указывает на факт выполнения обработки данного файла.
processingDateTime=2008-03-17-04-32	Дата и время UTC завершения обработки. Обращаемся к этому параметру, чтобы определить, надо ли выполнить повторную обработку, например, после появления уточненных вспомогательных данных.
DispatcherName=MakeBrowseJPGDispatcher	Имя диспетчера, который выполнил обработку.
ResultDir= M:\MODIS\ ProcessingResultTemp\ P1540064AAAAAAAAAAAAAAAAA08051060146001\ SeaDAS_php_RC=0	Каталог с результатами обработки.
ProcessMODIS_RC=0	Код возврата скрипта ProcessMODIS.php.
ProductDescription=chl_oc2+Japan Sea.pro, chl_oc2, Japan Sea	Информация о каждом сгенерированном фале результатов: имя файла, имя продукта, имя региона (если регион не задан или не важен, то пишется слово NULL).

В силу сложной экологической обстановки в заливе Петра Великого Спутниковый центр принял решений об информационном обеспечении проведения непрерывного спутникового мониторинга залива в режиме реального времени. А заодно также для проведения мониторинга наиболее проблемных заливов северо-западной части Тихого океана – 2 залива Японии, один Китая и юг Кореи. Проблемные регионы полностью совпадают с таковыми, установленными программой UNEP/NOWPAP/CEARAC. Данные и программное обеспечение для их анализа предоставляются пользователям бесплатно. Выше приведен адрес, где можно взять программы и данные. И как показывает статистика запросов сайта Центра, данные уже активно используются потребителями.

3.10.3 Программа обработки данных солнечной фотометрии

Программа предназначена для расчёта спектральных составляющих аэрозольной оптической толщи атмосферы и интегрального влагосодержания. При запуске программы открывается окно, представленное на Рисунок 2.10.3.1.

Обработка результатов измерений.

- 1) отметить опцию «Выводить АОТ» (расчёт АОТ и ОВС);
- 2) нажать кнопку «Открыть файлы», в открывшемся окне проводника открыть файл с данными измерений фотометра;
- 3) по окончании расчетов записать результаты, нажав клавишу «Сохранить результат».

Опция «Выводить логарифмы» позволяет провести вычисление логарифмов сигналов, скорректированных на молекулярное рассеяние и поглощение атмосферными газами. Результаты этих расчётов используются для определения калибровочных констант прибора.

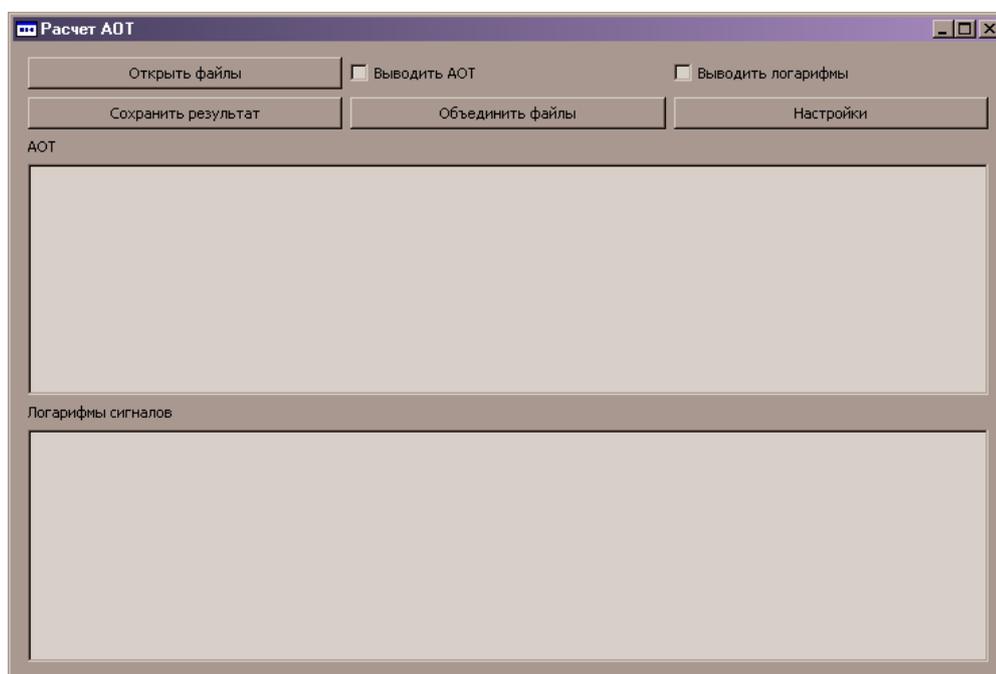


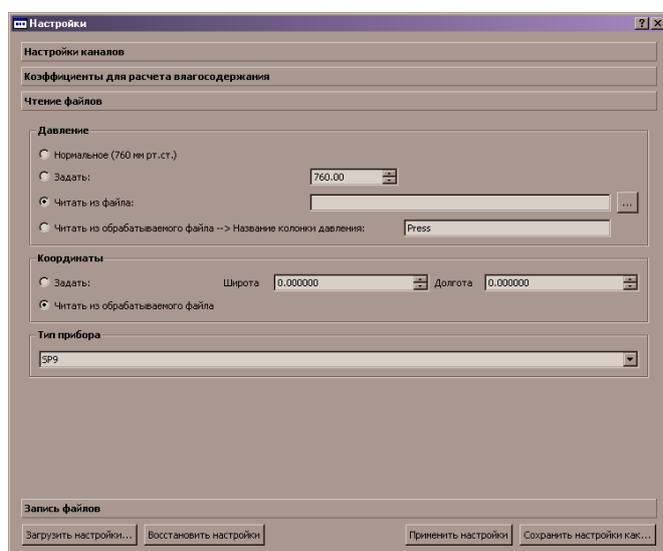
Рисунок 3.10.3.1. Интерфейс пользователя программы расчёта АОТ и ОВС.

Параметры обработки и записи результатов.

Калибровочные константы фотометра, параметры для расчета молекулярного рассеяния и поглощения на различных длинах волн хранятся в файле calculation.cfg. При запуске программы эти данные считываются, если файл calculation.cfg расположен в той же директории, что и программа SP_AOT_Calc.exe. Если файл с параметрами расположен в другой директории, то его необходимо загрузить нажав кнопки «Настройки», «Загрузить настройки», «Применить настройки».

При нажатии кнопки «Настройки» открывается окно (Рисунок 8). Закладки «Настройка каналов» и «Коэффициенты для расчёта влагосодержания» содержат параметры для расчёта АОТ и ОВС атмосферы (заполняются изготовителем).

(а)



(б)

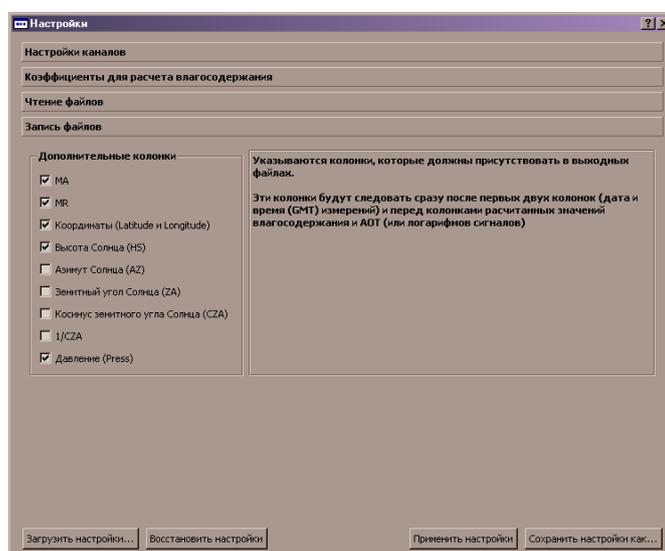


Рисунок 3.10.3.2. Окно настроек программы SP_AOT_Calc.exe .

Закладка «Чтение файлов» (Рисунок 3.10.3.2а) позволяет:

1) Подключить к обработке файл, содержащий данные об атмосферном давлении в период проведения экспериментов, либо задать постоянное

давление (например, 760 мм рт. ст.). Файл с данными о давлении должен иметь следующий формат.

Date Time Press

01.01.2010 10:00:00 761.2

01.01.2010 10:01:00 762.3

01.01.2010 10:02:33 764.5

Значение атмосферного давления для каждого измерения будет линейно интерполировано по двум соседним по времени значениям из файла, если временной интервал не превышает 24 часа. Если интервал между измерением фотометра и измерением давления превышает 24 часа, в расчетах используется давление 760 мм рт. ст.

2) Задать координаты, которые будут использованы при расчётах.

Закладка «Запись файлов» (Рисунок 3.10.3.2б) позволяет поместить дополнительную информацию в файл с рассчитанными значениями АОТ и ОВС. Например, значения оптической массы аэрозоля (M_A) и молекулярного рассеяния (M_R), географических координат точки наблюдения, высоты, азимута и зенитного угла Солнца, атмосферного давления. Структура файла с результатами расчетов представлена в таблице 3.10.3.1.

Таблица 3.10.3.1

Структура файла с результатами расчетов программы SP_AOT_Calc.exe

Дата	Время	Набор дополнительных колонок (задается пользователем)	W, г/см ²	k1 307нм -	k2 322нм -	k3 АОТ 341нм	k4 АОТ 368нм	k5 АОТ 1242нм	k6 АОТ 1557нм
------	-------	---	----------------------	------------------	------------------	--------------------	--------------------	---------------------	---------------------

k7 АОТ 2139нм	k8 АОТ 411нм	k9 АОТ 439нм	k10 АОТ 500нм	k11 АОТ 870нм	k12 936нм -	k13 АОТ 1042нм	k14 АОТ 549нм	k15 АОТ 672нм	k16 АОТ 775нм
---------------------	--------------------	--------------------	---------------------	---------------------	-------------------	----------------------	---------------------	---------------------	---------------------

Программа «фильтрации данных» (AOT_Cleaner.exe).

Программа предназначена для исключения измерений АОТ атмосферы искаженных влиянием облачности. Программа включает: а) процедуры автоматической фильтрации данных фотометрирования; б) возможность "ручного" исключения результатов измерений по выбору оператора. Интерфейс пользователя программы представлен на рисунке 3.10.3.3.

Загрузка данных в программу.

Осуществляется кнопкой «Загрузить АОТ файлы». В появившемся окне проводника выбирается искомый файл и нажимается клавиша «Открыть». Чтобы исключить считывание из файла колонок (длин волн) на которых расчет АОТ не производится, в разделе «Настройки» следует занести их название в список «Исключать колонки с именем» (см. рисунок 3.10.3.4).

Автоматическая фильтрация данных.

Модуль автоматической фильтрации включает две процедуры очистки данных от искажающего влияния облаков.

Первая основана на том, что изменение АОТ в отсутствии облаков не может претерпевать быстрых скачкообразных изменений. С этой целью из всего массива данных выделяется небольшой временной интервал (начиная с первого измерения) и для него проводится сравнение среднего и максимального значения АОТ. Если их разность превышает выбранное пороговое значение, то максимальное АОТ исключается. Данная операция повторяется до тех пор, пока искомая разность не перестанет превышать порог. Далее выборка смещается по времени на один замер (примерно 1 минута), и операции повторяются. Практика использования данного алгоритма показала, что величина выбираемого временного интервала должна составлять 10-15 минут, а величина порога – 0,05.

Вторая процедура базируется на том, что влияние облачности приводит к одновременному увеличению АОТ на всех длинах волн и, соответственно, её

спектральный ход приближается к нейтральному. Критерием для отбраковки замеров в этом случае, как показал проведенный ранее анализ, может служить одновременное выполнение двух условий: АОТ на длине волны 0,87 мкм превышает 0,2, а показатель Ангстрема α (характеризует селективность спектрального хода АОТ) меньше 1.

Для проведения фильтрации данных в автоматическом режиме необходимо:

- 1) Выбрать первую процедуру очистки («по среднему») и (или) вторую («по альфа»).
- 2) Для первой процедуры в разделе «Настройки» установить временной интервал для расчёта среднего значения АОТ и величину максимально возможного отклонения i -го значения АОТ от среднего для нескольких длин волн, по которым будет проводиться анализ.
- 3) Запустить процесс фильтрации кнопкой «Автоматическая очистка».

Ручной режим фильтрации данных.

В ручном режиме фильтрация данных заключается в отметке точек на графике временной изменчивости спектральных АОТ, подлежащих исключению. Для того чтобы пометить точку (или интервал точек) сначала необходимо их выделить (окрашиваются в белый цвет) с помощью мыши или «горячих клавиш». Затем, выделенные точки «помечаются» (т.е. будут исключены при сохранении результатов фильтрации). Отметка точек и отмена отметки осуществляются клавишами «Пометить», «Снять пометку», «Снять все пометки».

В программе предусмотрены следующие возможности.

- 1) Отмена последней операции выделения и пометки точек (клавиши «UnDo» и «ReDo»).
- 2) Отмена всех операций выделения и пометки точек (клавиши «UnDoAll» и «ReDoAll»).

3) Проводить фильтрацию как для всех спектральных составляющих АОТ, так и на выделенном наборе. Для этого предусмотрена возможность селекции спектральных каналов, для которых производится фильтрация (Рисунок 2.10.3.3).

4) Выделение отдельного участка графика мышкой (слева-направо-вниз) и возврат к отображению всего массива данных (справа-налево-вверх).

(Список «горячих клавиш», используемых предусмотренных программой, приложен в отдельном файле.)

Сохранение результатов фильтрации производится клавишей «Сохранить результаты ...».

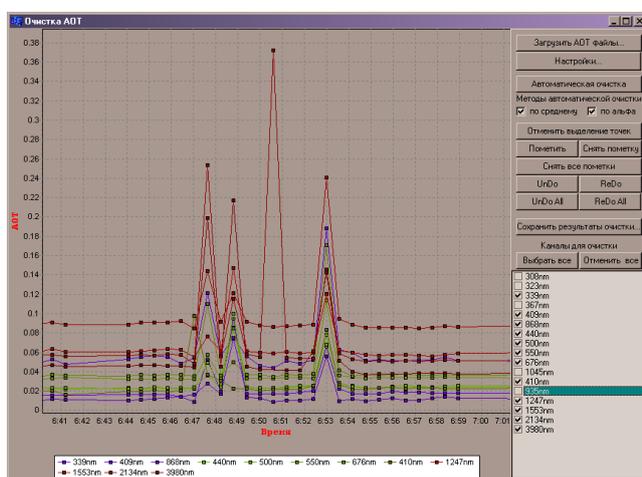


Рисунок 3.10.3.3. Интерфейс пользователя программы AOT_Cleaner.exe.

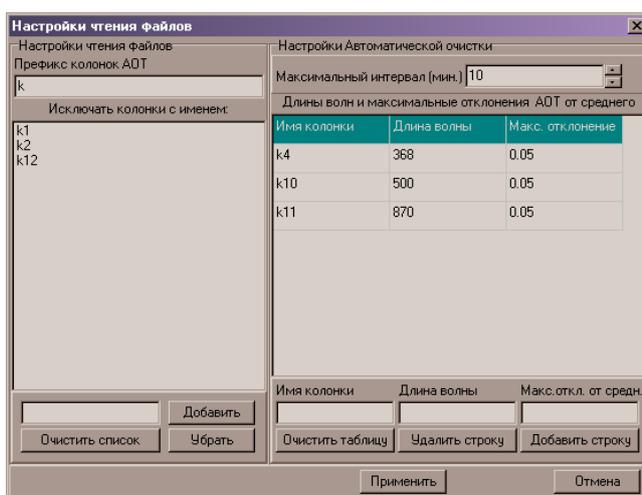


Рисунок 3.10.3.4. Окно настроек автоматической очистки данных программы AOT_Cleaner.exe.

3.10.4. Вычислительная система для расчета профилей температуры и влажности атмосферы.

Атмосферное зондирование со спутников в настоящее время является основным источником информации о профилях водяного пара, температуры и о полях ветра. Ключевым здесь является вертикальный зондировщик ATOVS (Advanced TIROS Operational Vertical Sounder). Современные системы предсказания погоды базируются на численных моделях динамики атмосферы. А обмен данными в режиме реального времени (в течение получаса после их приема) существенно улучшает качество прогнозов погоды. Все это обусловило построение глобальной сети передачи данных ATOVS - Regional ATOVS Retransmission Service (RARS), формирование которой идет в настоящее время под эгидой Всемирной Метеорологической организации.

ATOVS включает в себя 2 радиометра: инфракрасный двадцати канальный радиометр HIRS/3 (High-Resolution Infrared Sounder) и микроволновой двадцати канальный радиометр AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit). Пространственное разрешение каналов лежит в диапазоне 16-48 км. И если бы данные радиометры на функционирующих сейчас спутниках (NOAA-15,-16,-17,-18,-19, MetOp, AQUA) работали безотказно, то профили температуры и влажности атмосферы можно было бы строить в среднем каждые 2 часа.

Полученные нами пакеты программ Европейского космического агентства позволяют делать расчеты ключевых полей атмосферы - вертикальных профилей температуры и влажности по данным радиометров ATOVS спутников NOAA и METOP. Пакеты программ Европейского космического агентства основаны на решении обратной задачи прохождения излучения через атмосферу (в первую очередь микроволнового излучения). Пакет AAPP - первичная обработка данных; пакет RTTOV - решение прямой задачи; пакеты SSMIS-1Dvar и MetOffice-1Dvar - решение обратной задачи [47-49].

ATOVS and AVHRR Processing Package – AAPP – программный пакет выполняющий предварительную обработку данных видимых, инфракрасных и микроволновых радиометров и зондировщиков, установленных на спутниках TIROS-N/NOAA, NOAA-KLM и спутника МЕТОР.

Для спутников NOAA AAPP выполняет следующие задачи:

- извлечение данных заданного инструмента из потока данных HRPT
- извлечение телеметрической информации, связанной с калибровкой заданного инструмента
- географическая привязка данных
- преобразование отсчетов инструментов к физическим величинам (калибровка)
- предварительная обработка данных (включая маскирование облачности)
- геометрическое совмещение данных зондировщиков к одному из них (HIRS, AMSU, MHS or IASI)
- расчет статистических параметров данных AVHRR в пикселях HIRS

В ходе обработки для каждого инструмента создаются следующие файлы:

- level 1a = отсчеты инструмента
- level 1b = отсчеты инструмента вместе с информацией о географической привязке и калибровочной информацией
- level 1c = коэффициенты альбедо или радиационные температуры вместе с информацией о географической привязке пикселей и калибровочной информацией
- level 1d = коэффициенты альбедо или радиационные температуры приведенные к единой инструментальной сетке вместе с информацией о географической привязке пикселей и калибровочной информацией

Radiative Transfer for TOVS – RTTOV – это очень быстрая модель радиационного переноса для пассивных инфракрасных и микроволновых радиометров, спектрометров и инфрарадиометров направленных в надир. Программа моделирования плотности излучения, воспринимаемой спутником, написана на языке Fortran-90, и спроектирована таким образом, чтобы облегчить её взаимодействие с приложениями пользователя. Для указанного радиометра, при заданных вертикальных профилях температуры, влажности и, возможно, содержания озона и углекислого газа, угле сканирования и температуры подстилающей поверхности, давления, и, возможно, излучающей способности поверхности RTTOV рассчитывает плотность потока энергии, которая должна восприниматься спутником, для всех каналов радиометра. Одновременно RTTOV рассчитывает якобиан, описывающий изменение конечного вектора при изменении вектора состояния атмосферы. RTTOV обеспечивает обработку данных со следующих устройств: HIRS, MSU, SSU, AMSU-A, AMSU-B, AVHRR, SSMI, VTPR, TMI, SSMIS, AIRS, HSB, MODIS, ATSR, MHS, IASI, AMSR, MVIRI, SEVIRI, GOES-Imager, GOES-Sounder, GMS/MTSAT imager, FY2-VISSR, FY1-MVISR, WINDSAT, SSMT/2.

Пакеты, решающие обратную задачу, ориентированы на использование в качестве начального приближения профилей региональной модели прогноза погоды. В нашем регионе таких профилей нет в наличии, так как региональной модели Росгидромета нечего усваивать при расчете прогноза - сеть аэрологических наблюдений разрушена, а данные радиометров ATOVS Росгидромет использовать не научился. Поэтому проведены исследования подходов к выбору начального приближения.

На основе полученных программных средств Европейского космического агентства создан программный комплекс автоматического расчета профилей температуры и влажности атмосферы. Программные средства включены в распределенную систему обработки данных Спутникового центра и развернуты на мощностях Суперкомпьютерного центра ДВО РАН, позволяющего вести

глубокое распараллеливание вычислений с высокой точностью. Созданные средства позволяют осуществлять удаленный запуск комплекса и получать результат в режиме реального времени (в течение 15 минут после приема данных).

IV ПРОВЕДЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

4.1. Техничко-экономические показатели созданных в рамках развития УСУ «ЛаМИ», программно-технических средств

Выполненные в рамках проекта работы позволили нарастить потенциал Центра коллективного пользования регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН. К основным результатам можно отнести следующие.

Вычислительная система автоматического расчета биопараметров моря и профилей температуры и влажности атмосферы. Созданная система позволяет в режиме реального времени (от 15 минут до нескольких часов) поставлять карты геофизических полей различным пользователям. Профили температуры и влажности атмосферы – это фактически трехмерные карты (карты параметров на различных высотах - несколько десятков уровней). Поставляются карты для более 200 видов геофизических параметров океана и атмосферы. Их основными потребителями уже сейчас являются научно-исследовательские подразделения, рыбопромысловые организации, ледокольный флот и администрации северных портов, экологические организации. В частности, в рамках международной программы ООН UNEP для стран-участников программы в Северо-западной части Тихого океана поставляются карты биопараметров моря по 5 проблемным заливам Китая, Южной Кореи, России и Японии (адрес ресурсов - <ftp://ftp.satellite.dvo.ru/pub/MODIS/PROJ/>).

Метод расчета карт температуры океана с заданной точностью по данным японского спутника MTSAT-1R. Были найдены ошибки калибровки этого спутника, а также дефекты спутниковой аппаратуры. Созданы корректирующие функции, которые позволяют строить карты температуры без систематической ошибки и при случайной ошибке менее 0.8°C. Карты же Японского метеорологического агентства не удовлетворяют мировым

стандартам. Подготавливаются предложения по передаче методики Японскому метеоагентству. На основе данного метода построена процедура создания композиционных карт температуры поверхности моря, которая существенно улучшила информационную основу спутникового мониторинга термических параметров морей.

Распознавание вида микроводорослей по данным дистанционного зондирования.

Получены новые знания и накоплены различные измерения, обеспечивающие принципиальное решение этой задачи. При наличии более 2000 видов микроводорослей, их пространственно-временная изменчивость не столь велика. В произвольно выбранной пробе воды биомасса лидирующей водоросли составляет около 60% общей биомассы, а 4-х лидирующих водорослей – около 90%. При этом наблюдается значительная пространственно-временная устойчивость видового состава, что снимет принципиальные ограничения на задачу распознавания вида водоросли. В первую очередь имеется ввиду задача распознавания цветения вредоносных водорослей, которые выделяют токсины, накапливающиеся в моллюсках, идущих в пищу человека. Измерены спектральные характеристики некоторых токсичных водорослей Дальнего Востока России для использования их как эталонов при обнаружении мест вредоносного цветения.

Оценки экономической эффективности применения полученных средств и результатов.

Поскольку спутниковая информация является входной информацией для принятия решений различными ведомствами и организациями, а эффективность ее использования зависит от решаемых задач, то возможны лишь косвенные оценки эффективности ее применения. Возможны следующие косвенные оценки эффективности разработанных средств.

В области гидрометеорологии. 3 марта 2010 года глава МЧС России Сергей Шойгу предложил ввести меры ответственности за неточные

метеорологические прогнозы. Свое предложение он озвучил в рамках правительственного часа в Совете Федерации. По словам Шойгу, «при объявлении, например, штормовых прогнозов, сразу задействуется много сил и средств. Кроме того, от точности этих прогнозов зависит авиация и флот. Министр по чрезвычайным ситуациям заявил, что работа Росгидромета должна походить на работу организации, которая берет за свой товар деньги и должна отвечать за качество товара». Напомним, ранее представитель Росгидромета сообщил, что экономический эффект от точных и заблаговременных прогнозов погоды в 2009 году в целом по всем отраслям российской экономики составил 21 млрд 398 млн рублей.

Детальный прогноз погоды делается во всем мире на основе региональных моделей прогноза. Основным источником данных для региональной модели являются поля вертикальных профилей температуры и влажности атмосферы. Как заявил сопредседатель международной группы ITWG/ITSC по развитию технологий обработки данных ATOVS Roger Saunders (MetOffice, Великобритания) несмотря на то, что в Европе одна из самых густых сетей наземных станций наблюдения "влияние спутниковой информации на модели показывает, что основным компонентом системы наблюдения являются спутники, в то время как зонды (метеорологические) являются вторым, или третьим компонентом по значимости". Поскольку сеть наземных наблюдений на Дальнем Востоке фактически уничтожена (менее 10% от минимально необходимого количества аэрологических станций по нормам 80-х годов), а профили, восстанавливаемые по данным радиометров ATOVS не используются, то для региональных прогнозов погоды просто нет данных. Созданные методики и программно-технические средства позволяют необходимую информацию получать. И в официальном запросе начальник Приморского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Кубай Б.В. выразил желание такую информацию от нас получать

(письмо №АСПД-280 от 24 декабря 2009 года). В нее вошли как атмосферные профили, так и композиционные карты температуры поверхности моря.

В области охраны окружающей среды. Программа ООН UNEP (United Nations Environment Programme), в которой принимают участие в качестве экспертов от России несколько сотрудников настоящего проекта, посвящена ключевым проблемам охраны окружающей среды в каждом регионе Земли. В нашем регионе северо-западной части Тихого океана (страны-участники Китай, Южная Корея, Россия и Япония) основное направление работ в области спутникового мониторинга связана с задачей идентификации и предсказания массового и/или вредоносного цветения микроводорослей в море. Помимо отравлений и смертей людей от этого явления, прямые экономические убытки стран от этого явления исчисляются десятками и сотнями миллионов долларов ежегодно. В таблице 4.1. приведены примеры подсчета таких убытков.

Таблица 4.1. Оценки ущерба от вредоносного цветения водорослей

Страна	Число вредоносных цветений за 5 лет	Год и ущерб (Миллионы US\$)
Китай	38	2002 - 30
Корея	148	1995 – 100 2003 – 19
Япония	259	1977 - 200 1999 – 7

Ущерб пропорционален объему выращиваемых/добываемых морепродуктов. Более того, выращивание морепродуктов провоцирует цветение микроводорослей. Пока в Приморье эти объемы не велики – около 500 тонн в год. Но бизнес выгодный, его рост – 50% в год, а потенциал увеличения – в 1000 раз (согласно оценкам экспертов ИБМ ДВО РАН). Поэтому проблема вредоносного цветения водорослей и минимизация убытков от этого явления являются проблемами нашего ближайшего будущего.

Вопросы использования оборудования и технологий. Созданные технологии и модернизированное оборудование являются развитием программно-технической базы Спутникового центра. Оборудование центра загружено круглосуточно и в полном объеме (за исключением времени его профилактики, ремонта и модернизации). Услуги центра бесплатны для организаций ДВО РАН и организаций, проводящих исследования по госконтрактам (оплата только расходуемых материалов и специальных работ, требующих значительных привлечений персонала Центра). Остальные пользователи получают услуги на договорной основе. Поставляемые данные проходят верификацию на точность. Последняя проводится непосредственно Центром (вплоть до использования морских экспедиционных работ по верификации) и опосредствованно, то есть через адаптацию проверенных технологий.

V. РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ НИР

5.1 Пространственная и временная изменчивость атмосферного аэрозоля, озона, водяного пара, метеопараметров.

Комплексный аэрозольный эксперимент 2009 г

В настоящем разделе приводятся краткие результаты комплексного аэрозольного эксперимента, проведенного весной 2009 г. совместными усилиями двух институтов Дальневосточного (ИАПУ ДВО РАН) и Сибирского (ИОА СО РАН) отделений РАН. Более подробная информация доступна в публикациях [50,51].

Одной из основных задач комплексных аэрозольных экспериментов было получение данных об особенностях формирования и изменчивости аэрозольного ослабления радиации, как всей толщи атмосферы, так и вертикального распределения вблизи границы раздела материк-океан. Наиболее распространенными методами исследований указанных характеристик является солнечная фотометрия и лазерное зондирование атмосферы. Лидарно-фотометрические измерения проводились в п. Горнотаежное (на удалении ~80 км от океана) и с борта ПУС "Надежда" по маршруту Владивосток-Нагасаки-Пусан и обратно. Объем данных по различным характеристикам аэрозоля, полученных в период с 5 апреля по 15 мая 2009 г., приведен в таблице 5.1.1.

Таблица 5.1.1.

Сроки измерений и объем данных, полученных солнечными фотометрами (τ_{λ}^a , W) и лидарами (профили характеристик аэрозоля).

	п. Горнотаежное		ПУС "Надежда"	
	Фотометр	Лидар	Фотометр	Лидар
Сроки	05.04-08.05	15.04-08.05	14.04-09.05	14.04-09.05

Кол-во дней измерений	24	16	15	15
Кол-во серий измерений	16658	55	445	42

В измерениях АОТ и влагосодержания атмосферы использовались три типа солнечных фотометров: на борту ПУС "Надежда" – портативный фотометр SPM [52]; в п. Горнотаежное – экспедиционный фотометр SP-Э и фотометр CE 318 сети AERONET (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>). Фотометром CE 318 измерялась прямая и рассеянная радиация в диапазоне 0.34-1.02 мкм, а фотометрами типа SP – только прямое излучение, но в более широкой области спектра 0.3-2.14 мкм. Аппаратурно-методические вопросы определения АОТ и влагосодержания приведены в работах [53-56].

На основе полученных данных, анализировались средние за час и за день значения следующих характеристик: АОТ на разных длинах волн τ_{λ}^a , грубо- и мелкодисперсная компоненты (τ^f , $\tau_{0.5}^f = \tau_{0.5}^a - \tau^c$), влагосодержание W, а также параметры α , β формулы Ангрстрема $\tau^a(\lambda) = \beta \cdot \lambda^{-\alpha}$.

В измерениях вертикальных профилей характеристик аэрозоля использовались два типа лидаров. Зондирование атмосферы на борту ПУС "Надежда" проводилось одночастотным лидаром с излучателем на второй гармонике Nd:YAG (532 нм, 50 мДж) и фотообъективом МТО 1000 системы Максудова с апертурой 100 мм. Регистрация сигналов обратного рассеяния осуществлялась в диапазоне от 400 м до 10 км через селективный интерференционный фильтр фотоумножителем ФЭУ-83 и 12 разрядным АЦП с частотой дискретизации 20 МГц.

В п. Горнотаежное использовался многочастотный лидар с трехчастотным NdYAG лазером – энергии в импульсе 50 мДж (1064 нм), 70 мДж (532 нм) и 40 мДж (355 нм), расходимость зондирующего пучка менее 1 мрад. Фотоприемная система выполнена на основе телескопа Ньютона (апертура 200 мм, поле зрения 1 мрад) с четырехканальным спектральным блоком, содержащим дихроичные зеркала и интерференционные фильтры. Система регистрации сигналов обратного рассеяния включала: лавинный фотодиод (1064 нм), ФЭУ-84 (355, 532 нм) и 12 разрядный АЦП с частотой

дискретизации, обеспечивающей пространственное разрешение 15 м. В чистой атмосфере диапазон зондирования составлял от 700 метров до 15 км.

По данным лидарного зондирования рассчитывались коэффициенты обратного рассеяния аэрозолем b^a , величины аэрозоль-молекулярного рассеяния R и их вертикального распределения. При одновременных лидарно-фотометрических экспериментах использовался итерационный метод расчета коэффициента b^a [57] с привлечением АОТ, измеренных солнечным фотометром, что позволяло исключить неопределенность выбора коэффициента лидарного отношения S . В отсутствии сопутствующей информации об АОТ (зондировании в вечернее и ночное время), лидарное отношение определялось методом Ферналда-Клета [58] с использованием результатов лидарно-фотометрических измерений, полученных накануне.

При наличии перистой облачности (Ci), которая определялась по условию $R > 2$ и высоте нижнего среза облака > 6 км, в тропосфере условно выделялись два участка: подоблачная часть – интервал высот от 700 м до нижнего среза облачности и верхняя тропосфера – от нижней границы облака до тропопаузы. Как правило, Ci располагались в примыкающем к тропопаузе двухкилометровом слое. В этом случае фотометрическая АОТ, не включающая Ci , относилась ко всему подоблачному слою и расчет коэффициента обратного рассеяния в нижней тропосфере осуществлялся итерационным методом. Расчет оптической толщи Ci в верхней тропосфере проводился методом Ферналда-Клета с лидарным отношением $S_{cloud} = 25$, характерным для Ci [59]. Для расчета молекулярного рассеяния привлекались данные станции высотного метеозондирования Садгород, расположенной вблизи Владивостока – на удалении 70 км от точки зондирования.

При анализе вариаций аэрозольной загрузки тропосферы и характеристик Ci использовались значения АОТ подоблачного слоя τ_{532}^a (для зондирующей длины волны 532 нм), оптические толщины облака τ_{532}^{cloud} и их первые моменты

M_1^a , M_1^{cloud} [60], которые характеризуют вертикальное распределение аэрозоля в подоблачном и облачном слое:

$$M_1^a = \frac{1}{M_0^a} \int_{h=700}^{h_{base}} [R(h) - 1] \cdot h \cdot dh; \quad M_1^{cloud} = \frac{1}{M_0^{cloud}} \int_{h_{base}}^{h_{top}} [R(h) - 1] \cdot h \cdot dh; \quad (5.1.1)$$

$$M_0^a = \int_{h_{base}}^{h_{top}} [R(h) - 1] \cdot dh; \quad M_0^{cloud} = \int_{h=700}^{h_{base}} [R(h) - 1] \cdot dh, \quad (5.1.2)$$

где h_{base} и h_{top} – высоты нижней и верхней кромок облаков.

Из (5.1.1) следует, что M_1^a и M_1^{cloud} определяют средневзвешенные высоты распределения тропосферного аэрозоля и перистой облачности, соответственно.

На основе характеристик C_i и данных станции высотного метеозондирования были получены оценки радиационного форсинга облачности по формуле, предложенной в [61]:

$$f = \sigma(T_s^4 - T_c^4)[1 - \exp(-D \cdot \tau_{532}^{cloud} / C)], \quad (5.1.3)$$

где σ – константа Стефана-Больцмана, T_s , T_c – температуры у поверхности Земли и на высоте расположения облака, C – константа (~2).

Для оценки пространственно-временной изменчивости АОТ в районе проведения эксперимента, а также изучения вопроса о доминирующих источниках аэрозольного загрязнения были использованы спутниковые данные, включающие телеметрическую информацию системы EOS/MODIS (спутники Terra и Aqua), измерения аэрозольной оптической толщи (АОТ) в спектральных каналах $\lambda=0.47, 0.55, 0.66$ мкм, а также данные об облачной маске и результаты детектирования очагов пожаров из космоса. Ниже перечислены источники этой информации в сети Интернет:

- файлы телеметрической информации MODIS (уровень L1, пространственное разрешение 1 км); сайт LAADS Web (*Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System*) [62];
- тематические продукты MODIS Aerosol Products (MOD04_L2, 10 км), MODIS Cloud Mask (MOD35_L2, 1 км) [62];

- результаты мониторинга пожаров по данным EOS/MODIS (MOD14); сайт LP DAAC Web (*Land Processes Distributed Active Archive Center*) [63];
- результаты обработки данных MODIS уровня D3 (MOD08_D3), полученные с помощью системы *Giovanni*, NASA GES DISC [64].

Данные AERONET [65] на первом этапе привлекались для оценки достоверности спутниковых измерений АОТ. С этой целью осуществлялся их сравнительный анализ с фотометрическими измерениями на станциях AERONET в Уссурийске (поселок Горнотаежное), Китае, Южной Корее и Японии (Beijing, XiangHe, Xinglong, Taihu, Gwangju, Shirahama). При проведении анализа использовалась обычная методика, согласно которой фотометрические измерения, выполненные в интервале ± 30 минут от времени пролета спутника, сопоставляются со спутниковыми данными, усредненными в окрестности 5×5 пикселей вокруг точки фотометрических измерений. Для станции Уссурийск в результате отбора за период с 01.04-15.05.2009 мы получили около 10 пар значений АОТ и влагосодержания, а для 6 зарубежных станций их было порядка 100.

Спутниковые данные MOD04_L2 и MOD08_D3 позволили построить временную серию карт АОТ различного пространственного разрешения и оценить временную изменчивость пространственного распределения АОТ в рассмотренных регионах.

Для определения доминирующих аэрозольных источников проводился анализ файлов телеметрической информации и результатов мониторинга пожаров, что позволило нам осуществить наблюдение за характерными весенними песчаными бурями в пустынях Гоби, Бадын-Джаран и Такла-Макан, а также определить интенсивность пожарной обстановки в Приморье, Монголии и Китае.

Результаты лидарно-фотометрических исследований аэрозоля, проведенных весной 2009 г. в переходной зоне материк-океан, позволяют сделать следующие выводы.

1. Весенняя атмосфера в исследованном регионе отличается примерно двукратным превышением аэрозольного замутнения в сравнении с другими (морскими и континентальными) районами умеренных широт (см. Таблица 4.1.2). Повышенная мутность атмосферы проявляется во всем диапазоне спектра (0.3 – 2.14 мкм) за счет большего содержания мелко- и грубодисперсного аэрозоля. Средние и максимальные значения АОТ атмосферы в области 0.5 мкм составили: в Приморье – 0.46 и более 0.75, в Японском море – 0.35 и более 0.5, соответственно. Высокие значения АОТ обусловлены выносами континентального аэрозоля, преобладающие типы которого (дымовой, антропогенный, пылевой) в конкретных ситуациях различаются.

Таблица 5.1.2.

Средние (\pm СКО) значения основных характеристик АОТ в Приморье и Японском море в сопоставлении с многолетними данными (апрель-май)

Район измерений	$\tau_{0.5}^a$	α	β	$\tau_{0.5}^f$	τ^c
ПУС "Надежда"	0.348 \pm 0.157	0.94 \pm 0.32	0.178 \pm 0.078	0.215 \pm 0.123	0.145 \pm 0.054
Горнотаежное	0.464 \pm 0.191	1.41 \pm 0.40	0.183 \pm 0.091	0.369 \pm 0.165	0.115 \pm 0.079
Горнотаежное (2005-2009)	0.471 \pm 0.237	1.19 \pm 0.35	0.214 \pm 0.149	–	–
Томск (многолетние)	0.202 \pm 0.146	1.37 \pm 0.36	0.077 \pm 0.051	0.115 \pm 0.082	0.064 \pm 0.035

2. Селективность спектрального хода АОТ атмосферы (средний показатель $\alpha=0.94$) над Японским морем близка к континентальным значениям из-за большого содержания мелкодисперсного аэрозоля выносимого с континента.

3. В вертикальных профилях аэрозоль-молекулярного рассеяния отчетливо прослеживаются две области повышенного светорассеяния, характеризующие высотное распределение аэрозоля: широкий подтропопаузный слой со статистическим максимумом на высоте 8 км и слой в

области ППС (~2 км). Вариабельность подтропопаузного слоя в значительной степени отражает пылевую активность и перенос аэрозоля (с задержкой на ~3 суток) из аридных районах Китая и Монголии. На форму вертикального распределения характеристик аэрозоля существенное влияние оказывает циклоническая деятельность.

4. По результатам информационного поиска и анализа спутниковых данных нами был сделан вывод, что появление в зоне проведения радиационного эксперимента периодов с аномально высоким содержанием аэрозоля, приходящихся на 10-13, 18-20, 24-25 апреля, может быть связано с влиянием весенних пылевых бурь, возникших на северо-западе Китая.

5. Увеличение значений АОТ в Приморье в период 8-10 апреля и 30 апреля – 1 мая можно объяснить резким увеличением числа и мощности лесных пожаров, что обычно связано с началом сельскохозяйственного периода в регионе.

6. Результаты совместного анализа данных лидарного зондирования, спутникового мониторинга состояния атмосферы и траекторного анализа движения воздушных масс убедительно свидетельствуют, что атмосфера Дальневосточного региона в весенний период подвержена сильному влиянию пылевого аэрозоля из аридных районов Китая и Монголии. Доминирующая роль в трансграничном переносе азиатского аэрозоля принадлежит системе зональных ветров, формируемой субтропическим струйным течением в области северной тропопаузы и барическими системами Дальневосточного региона.

7. Характер высотного распределения микрофизических характеристик в атмосфере переходной зоны материк-океан определяется как адвекцией аэрозоля из континентальных и морских районов, так и модификацией его микрофизических характеристик под воздействием полей влажности и динамических атмосферных процессов. Так, антициклоническое снижение перистых облаков приводит к понижению относительной влажности и изменению микрофизики аэрозольных частиц. Напротив, взаимодействие

теплых и холодных воздушных масс субтропического и полярного струйных течений способствует повышению относительной влажности в области их соприкосновения, что также приводит к модификации микрофизических характеристик аэрозоля и, в некоторых случаях, сопровождается образованием перистой облачности.

Результаты анализа функции распределения аэрозольных частиц по размеру

В данном разделе приводятся краткие результаты восстановления функции распределения аэрозольных частиц по размерам на основе данных лидарного зондирования и фотометрических измерений атмосферы в переходной зоне материк-океан, фотометрических измерений, выполненных во время морских экспедиций на акватории Японского моря и измерений спектральной прозрачности атмосферы в континентальных районах Приморского края. Более полная информация представлена в статье [66].

Экспериментальные данные были получены с использованием разработанных авторами трехчастотного малогабаритного лидара и судового солнечного фотометра СФ-01, а также при помощи солнечного фотометра CIMEL (NASA).

Для восстановления функции распределения частиц по размерам использовался модифицированный алгоритм Метрополиса-Гастингса [67]. Исходное интегральное уравнение рассеяния света аэрозольными частицами, которое связывает микрофизические и оптические параметры, линеаризовалось и представлялось в матричном виде. Оператор рассеяния M выражался матрицей $N \times M$, где N – соответствует числу измеренных оптических характеристик, а M – числу точек, в которых будет восстанавливаться значение функции распределения. Выбиралось логарифмическое распределение отсчетов [68], что обеспечивает быструю сходимость к решению. Пользуясь экспериментальной информацией о спектральном ходе коэффициентов аэрозольного ослабления/рассеяния проводилась интерполяция значений

оптических характеристик на большее число точек (равное числу отсчетов в функции распределения или большее). Факторы эффективности Ми предварительно сглаживались. Детальное описание алгоритма Метрополиса-Гастингса, а также улучшающих его сходимость модификаций можно найти в монографии [69]. Здесь мы приведем основные этапы и особенности этого алгоритма применительно к задаче восстановления функции распределения частиц по размерам.

Ниже на Рисунок 5.1.1 приведены результаты восстановления функции распределения числа частиц по размерам.

Как видно из графиков все приведенные спектры имеют двухмодальное распределение. Для проанализированных данных преобладающая число частиц сосредоточено в области от 0.01 мкм до 0.20 мкм – субмикронная фракция по классификации Юнга. Вторая мода для различных дней и интервалов высот имела свой наивероятнейший радиус. Его значение варьировалось в интервале от 0.3 мкм до 0.9 мкм. По классификации Юнга она соответствует среднедисперсной фракции и более чувствительна к изменениям свойств и состава атмосферы. Большинство результатов лидарного зондирования, использованных в этой статье имеют на профиле одну особенность, которая обусловлена верхней границей пограничного слоя.

В таких случаях изменение функции распределения рассматривалось только внутри этого слоя, поскольку выше функция распределения не изменялась. В периоды интенсивных песчаных бурь аэрозоль имел устойчивую трёхслойную стратификацию [70], поэтому восстановление функции распределения проводилось для каждого из наблюдаемых слоев. То же было проведено для случая регистрации вулканогенного аэрозоля (вулканы Касаточи, Окмок).

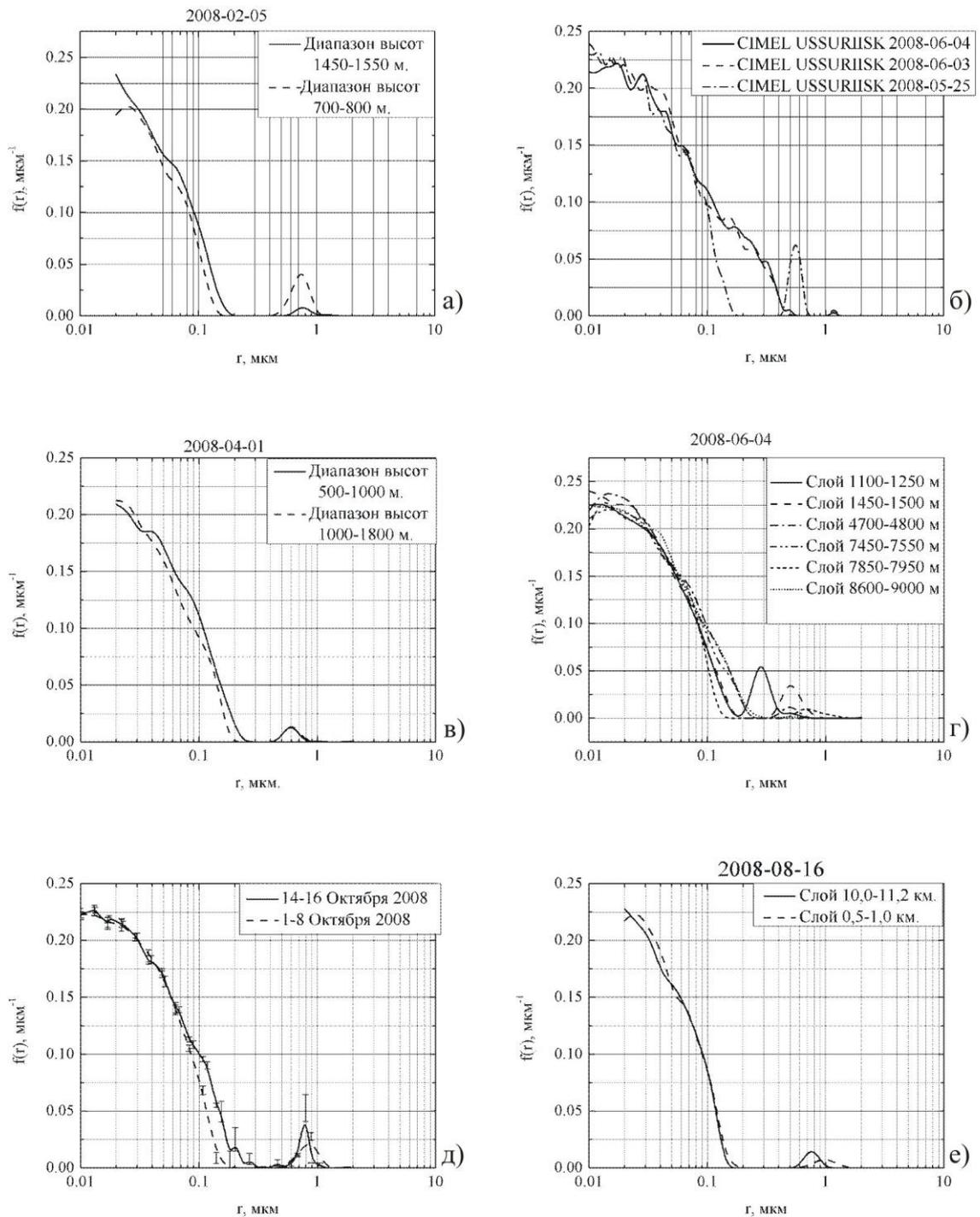


Рисунок 5.1.1 Функции распределения числа частиц по размерам.

На первых двух рисунках (а и б) представлены функции распределения для фонового аэрозоля соответственно в переходной зоне материк-океан и

континентальном районе Приморского края (УАФО ДВО РАН). Они сильно отличаются как по форме распределения, так и по количеству мод. На рисунке 4.1.1а основная мода простирается до размеров 0.2 мкм, а вторичная мода соответствует радиусу 0.6 мкм – 0.7 мкм. Рисунок 4.1.1б отражает спектр функции распределения для континентального района. На нём субмикронная фракция плавно переходит в среднедисперсную, за счет чего основание первого пика распределения достигает размеров 0.5 мкм. В основном, второй пик не разрешен, но иногда его можно наблюдать. В этом случае основание первого максимума достигает 0.2 мкм, а второй пик соответствует размерам частиц ~0.6 мкм.

В периоды пылевых бурь (март – начало июня) в атмосфере над исследуемой территорией переносится большое количество пыли [71]. В этом случае функции распределения выглядят как на Рисунок 5.1.1в-г. Это всегда двухмодальные распределения с первым пиком, достигающим по основанию до 0.2 мкм и вторым пиком, приходящимся на 0.6 мкм. С высотой спектр размеров частиц не изменяется в пределах погранслоя, что говорит о равномерном заполнении рассматриваемого слоя аэрозольным материалом. Такая ситуация является обычной для периода пылевых бурь. В тех случаях, когда интенсивность пылевого источника высока, и преимущественное направление ветра способствует прямому транспорту пыли из пустынь на исследуемую территорию, наблюдается 3-слойная стратификация аэрозоля, а функции распределения числа частиц по размерам имеют вид как на рис 5.1.1г. Отличительной особенностью спектров числа частиц является их сильная динамика с высотой. Изменения претерпевает не только среднедисперсная фракция аэрозоля, но и субмикронная фракция. С высотой основание основного максимума сначала увеличивается, достигая 0.15 мкм. В это же время наивероятнейший радиус, соответствующий второму максимуму, возрастает с увеличением высоты исследуемого слоя. Вместе с этим происходит уменьшение интенсивности максимума среднедисперсной моды. Для слоя

атмосферы в интервале высот 8600 м – 9000 м вторичный максимум полностью пропадает, а основание субмикронной фракции уменьшается до 0.15 мкм.

Что касается морских измерений (рис 5.1.1д), то здесь можно отметить слабую динамику функции распределения числа частиц по размерам, во время нахождения судна в открытом море вдали от источников терригенного аэрозоля. Характерные особенности спектра частиц – наличие двух максимумов. Основание первого достигает 0.20 мкм, наивероятнейший радиус второго максимума соответствует 0.9 мкм. При приближении к суше наблюдается увеличение основания первого максимума на 0.1 мкм и уменьшение наивероятнейшего радиуса второго максимума до 0.8 мкм. При этом увеличивается его интенсивность, и уменьшаются поперечные размеры. Такое поведение может быть связано с присутствием континентальных воздушных масс.

По лидарным данным (Рисунок 5.1.1е), содержащим информацию о вулканогенном аэрозоле, также было проведено восстановление спектра размеров частиц. Здесь наблюдалась двугорбое распределение со слабо выраженной среднедисперсной фракцией. С высотой размеры частиц, соответствующие второй моде распределения уменьшались вместе с общим числом частиц, приходящихся на эту моду.

В результате проведенных работ установлено, что в переходной зоне материк-океан распределение аэрозоля преимущественно имеет смешанный тип, при этом распределение числа частиц по размерам имеет два локальных максимума.

В фоновых условиях функция распределения может иметь как две, так и одну моду. В случае двухмодового спектра размеров частиц величина второй моды убывает с высотой в пределах пограничного слоя, а величина модального радиуса остается неизменной.

При наличии интенсивных источников аэрозоля (пылевые выносы) главная мода практически не меняется, за исключением увеличения числа

частиц с радиусами в интервале 0.03-0.05 мкм. Кроме того, правое крыло основной моды расширяется до размеров 0.2 мкм. Вторичный максимум испытывает большие изменения. Во-первых, возрастает его интенсивность и уменьшается модальный радиус частиц, соответствующих ему. В пределах пограничного слоя изменения незначительные в марте-апреле. В июне изменения положения и величины вторичного максимума существенны. С увеличением высоты слоя, для которого проводился расчет функции распределения, интенсивность его падает, а модальный радиус сдвигается в сторону больших размеров, что говорит об увеличении размеров частиц вышележащих слоев. Такая динамика второй моды наблюдалась до высот 8 км, функция распределения в последнем рассмотренном слое (8600 – 9000 м) вообще не содержит второго максимума. Такое поведение второй моды было зарегистрировано только во время пылевых выносов. При регистрации вулканогенного аэрозоля в августе 2008 г. наблюдалось нормальное поведение размеров вторичной моды – уменьшение размеров частиц с высотой.

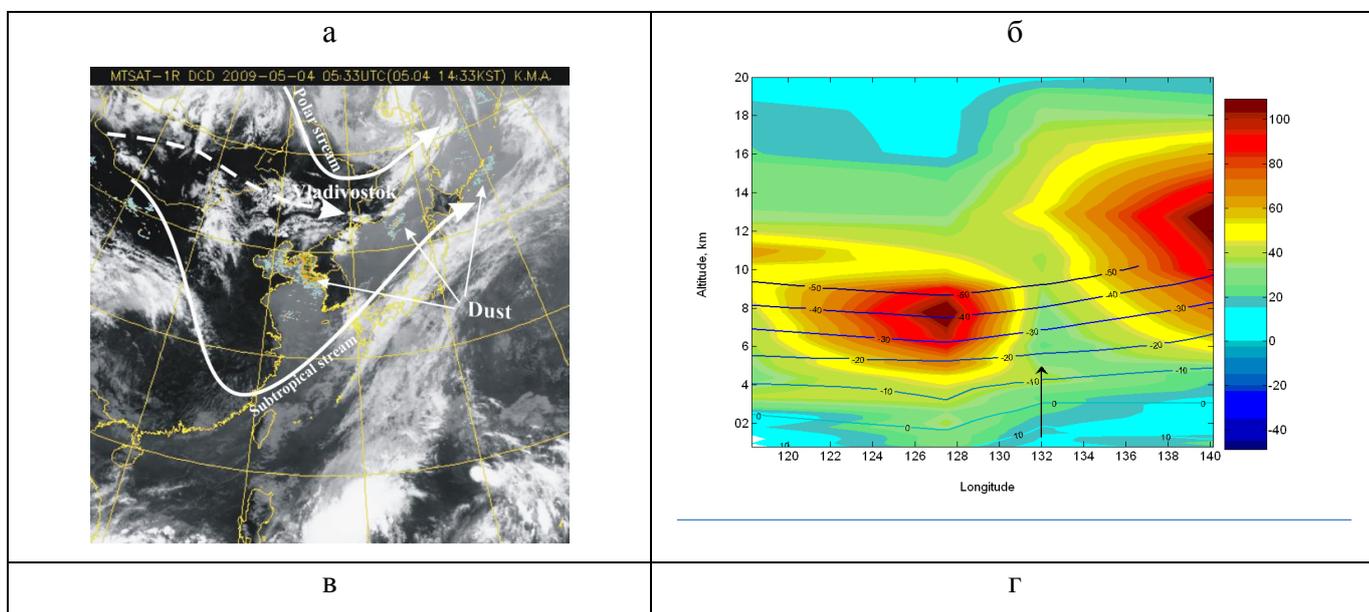
Данные морской экспедиции выявили изменение функции распределения только для прибрежных акваторий. Произошло уменьшение радиусов частиц, соответствующих субмикронной фракции аэрозоля, а также был обнаружен сдвиг на 0.1 мкм модального радиуса вторичной моды. Выявлено также увеличение числа частиц среднedisперсной фракции. Можно предположить, что наблюдаемые изменения спектра размера частиц связаны с влиянием материка.

Влияние полей влажности на светорассеивающие свойства аэрозоля

В период проведения лидарных измерений в Приморье зарегистрировано несколько случаев прохождения перистой облачности, зарождение которой по результатам анализа спутниковых снимков и траекторий движения воздушных масс было сопоставлено с пылевой активностью в пустыне Такла-Макан. Во

всех наблюдаемых случаях предвестниками появления щита перистой облачности служили протяженные аэрозольные слои с максимумом светорассеяния на высоте прохождения перистой облачности.

Изучение механизмов зарождения пылевых выносов и модификации микрофизических характеристик аэрозоля в процессе его дальнего переноса связано с решением задач косвенного влияния пылевого аэрозоля на климат. Ключевым элементом модификации микрофизических характеристик в переходной зоне материк-океан является взаимодействие пылевого аэрозоля с полями влажности. На спутниковых снимках перистой облачности наблюдается как рассасывание и полное исчезновение перистой облачности (например, под влиянием антициклонического снижения облачности, что наблюдалось 29 апреля), так и ее формирование при определенных метеорологических условиях. Интересным примером влияния пылевых ядер конденсации на процессы трансформации облачности может служить серия спутниковых снимков 4 мая 2009 года, один из которых приведен на Рисунок 5.1.2а.



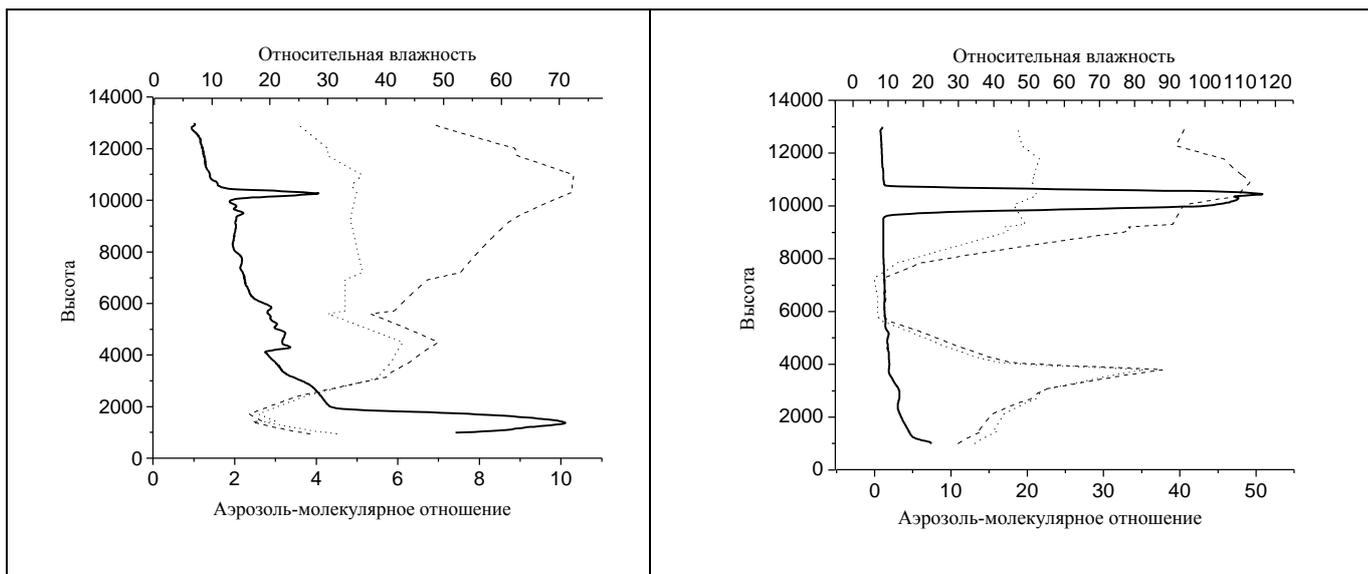


Рисунок 5.1.2 Влияние аэрозоля на перистую облачность.

В этот день район, где проводилось лидарное зондирование, оказался в зоне соприкосновения полярного и субтропического струйных течений, ядра которых располагались на высотах 8 и 12 км соответственно. На Рисунок 4.26 приведен «диагональный» с северо-запада на юго-восток вертикальный разрез ветрового поля, построенный по данным станций высотного зондирования, координаты которых приведены в таблице 5.1.3. При построении использовалась база данных Войоминского университета (<http://weather.uwyo.edu/apperair/sounding.htm>).

Таблица 5.1.3.

Координаты станций высотного метеозондирования

Географ. пункт	Номер станции	Широта	Долгота
Chara	30372	56.90	118.26
Blagovescensk	31510	50.53	127.5
Vladivostok	31977	43.26	132.05
Tateno	47646	36.05	140.13

С 0 до 24 часов местного времени было проведено четыре серии измерений с интервалом 6 часов, которые показали, что аэрозольное заполнение атмосферы наблюдалось до высот более 10 км, с сильным увеличением интенсивности рассеяния в слое от 8 до 9 км в последней серии. Анализ положения струйных течений по спутниковым снимкам MTSAT в канале регистрации водяного пара показал, что к 13 часам местного времени оси струйных течений максимально сблизилась между собой. Схема расположения струйных течений и траектория движения аэрозольного слоя на высоте 9 км приведены на рисунке 5.1.2а. Резкое увеличение аэрозоль-молекулярного отношения к 13 часам местного времени в области высот распространения пылевого аэрозоля и взаимодействия струйных течений сопровождалось интенсивным процессом образования перистой облачности в зоне повышенного содержания пыли, что отражено на серии спутниковых снимков в аэрозольном канале MTSAT за этот период. При этом по данным высотного метеозондирования в 22 часа местного времени уровень 100% влажности относительно льда располагался на высоте около 10 км. На рисунке 5.1.2в и рисунке 5.1.2г приведены вертикальные профили аэрозоль-молекулярного рассеяния, характеризующие начальную (в) и конечную (г) стадии развития перистой облачности. Точечной и пунктирной линией изображены профили влажности относительно воды и льда соответственно. На основании этих данных можно сделать заключение, что в области смешивания двух струйных течений с различным влагосодержанием и температурой возникли условия непосредственного перехода паров воды в твердую фазу на поверхности пылевых ядер, что позволяет говорить о существенной роли струйных течений в образовании перистой облачности 4 мая 2009 года.

Влияние струйных течений на радиационно-активные компоненты атмосферы Дальневосточного региона.

Атмосферный аэрозоль и озон наряду с парниковыми газами относятся к наиболее важным радиационно-активным компонентам атмосферы, определяющим энергетический баланс в системе Земля-атмосфера. Приморский край с точки зрения изучения пространственной и временной изменчивости этих компонентов представляет особый интерес. Муссонный климат Приморского края обеспечивает сезонную цикличность смены доминирующего типа аэрозоля в нижней тропосфере. – от континентального зимой до морского летом. Контрастную сезонную изменчивость аэрозоля в верхней тропосфере определяет цикличность пылевой активности в аридных районах Китая и Монголии и система зональных ветров, обеспечивающая транспорт пылевого аэрозоля в атмосферу Приморья. На атмосферу Приморского края распространяется действие самого мощного слоя озона в Северном полушарии [72]. Этот планетарный максимум, простирающийся от ядра Сибирского зимнего антициклона до побережья Японского и Охотского морей, ограничен с юга субтропическим струйным течением (ССТ) [73], проходящим вблизи Приморья с запада на северо-восток над островами Японии. На динамику вертикального распределения радиационно-активных компонентов определяющее влияние оказывает циркуляция воздушных масс в регионе. ССТ играет ключевую роль в циркуляции воздушных масс нижней стратосферы и верхней тропосферы этого региона. Формируя границу между тропической тропосферой и среднеширотной стратосферой, ССТ служит с одной стороны барьером, который задерживает воздушные массы арктического полярного вихря над акваторией северо-западной части Тихого океана, а с другой – выполняет роль своеобразного струйного насоса, обеспечивающего втягивание воздушных масс в сторону оси струйного течения и их перенос на дальние расстояния. Его роль проявляется в широтном транспорте, как озона в

филаментах арктического полярного вихря, захватываемых ССТ, так и азиатского пылевого аэрозоля в период пылевых бурь.

На широте расположения станции лидарного зондирования (430N, 1320E) характер вертикального распределения озона (ВРО) тесно связан с местоположением и интенсивностью ССТ. В зимне-весенний период времени, когда ядро ССТ достаточно близко подходит к югу Приморья, в атмосфере формируется двойная тропопауза (Рисунок 5.1.3 а). На вертикальном профиле счетной концентрации озона наряду с глобальным максимумом на 20 км наблюдается локальный в области расположения нижней тропопаузы (рисунок 5.3 б). Вероятность появления локального максимума, расположенного обычно на высоте 12-15 км, в зимние периоды 2008 и 2009 гг. составляла более 80%. Величина локального максимума варьировалась в значительных пределах, достигая в отдельные периоды значений глобального максимума. Не останавливаясь подробно на механизме образования локального максимума вблизи ССТ, заметим, что его присутствие отмечалось в многочисленных лидарных (<http://www-lidar.nies.go.jp/>) и insitu [76] измерениях, проводимых в Японии и Южной Корее, странах, над которыми проходит ССТ.

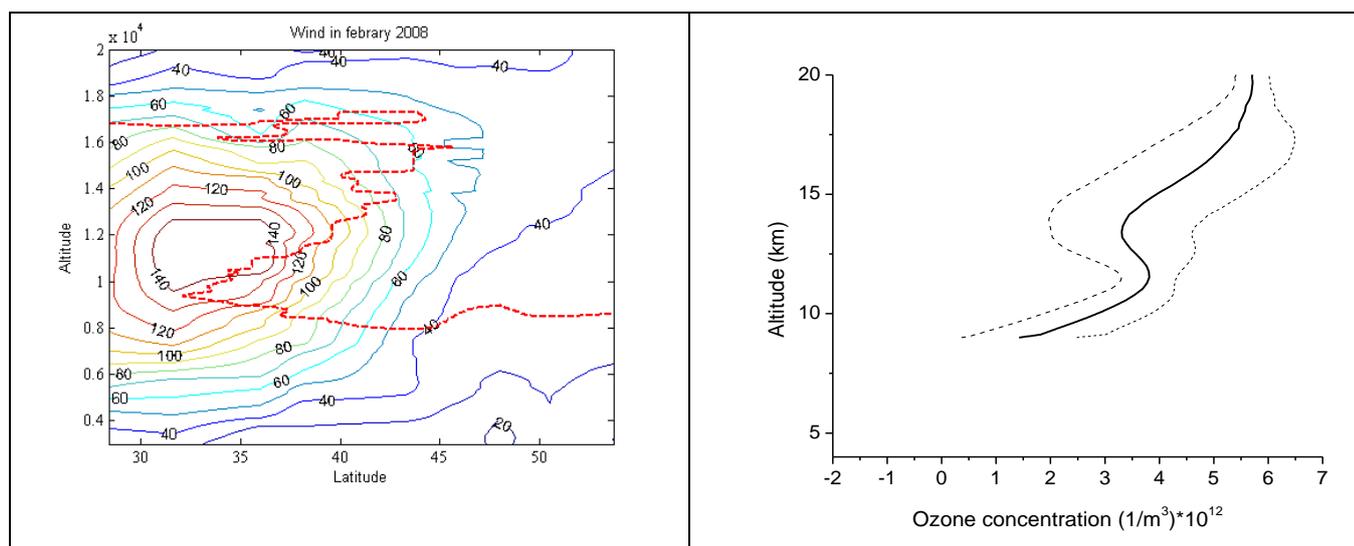


Рисунок 5.1.3 Разрез ветрового поля – а; Вертикальный профиль счетной концентрации озона – б.

На 43 широте Дальневосточного региона довольно часто регистрируются как субтропическое, так и полярное струйные течения, формирующиеся в высотных фронтальных зонах максимальных градиентов давления и температуры. Субтропическое струйное течение прослеживается в виде практически непрерывного пояса сильных западных ветров на северной периферии субтропических областей высокого давления. Ось струи проходит на высотах порядка 12-13 километров. Полярное струйное течение относится к среднеширотным течениям, формирующимся в области полярного фронта. Оно наблюдается в области 45-65 широт и располагается в диапазоне высот 8-10 км. Обычно струйные течения хорошо наблюдаются на спутниковых снимках. С антициклонической стороны (с южной стороны) субтропическое струйное течение четко очерчено границей перистых облаков, а сам воздушный поток хорошо просматривается на фоне подстилающей поверхности. Полярное струйное течение переносит холодные сухие воздушные массы и хорошо просматривается из космоса на фоне подстилающей поверхности. В отличие от субтропического оно далеко не всегда очерчено перистыми облаками.

Совместный анализ вертикального распределения озона и ветрового поля над городом Владивостоком показывает, что увеличение концентрации озона в нижней стратосфере и верхней тропосфере наблюдается в тех случаях, когда полярное струйное течение входит в соприкосновение с воздушными массами ССТ. В этом случае местоположения ядер обоих струйных течений становится неустойчивым, что может приводить к проникновению стратосферного воздуха в тропосферу в зоне взаимодействия струйных течений.

На рисунке 5.1.4 приведена ситуация взаимодействия струйных течений. В этом случае точка зондирования находилась в центре области пониженного давления.

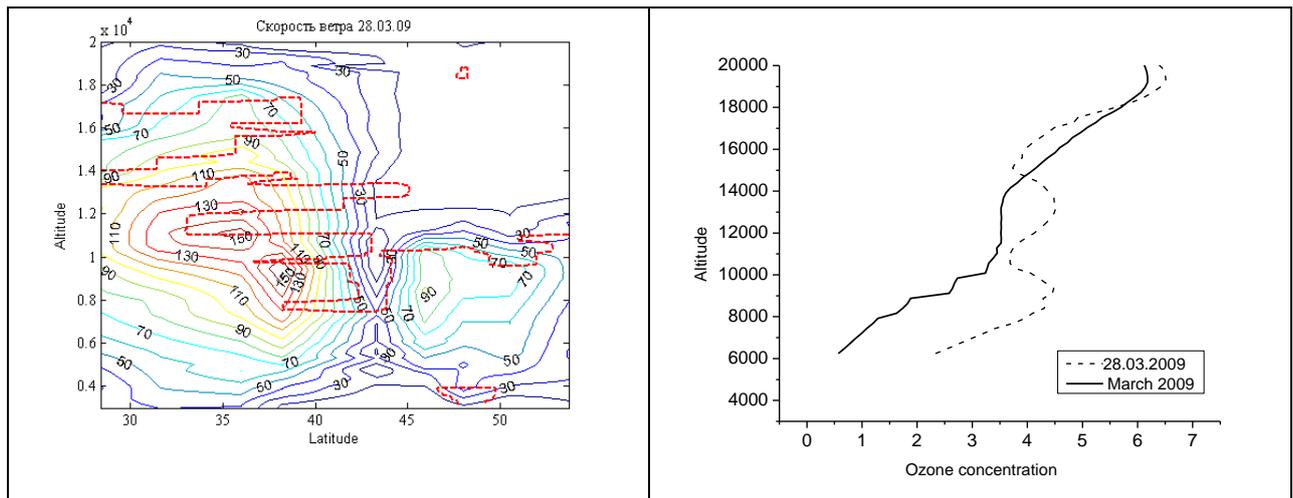


Рисунок 5.1.4. Меридиональный разрез ветрового поля и положение тропопаузв день измерения-а; Сравнение ВРО, сформированного в результате стратосферно-тропосферного обмена с усредненным ВРО за март 2009 г.

5.2 Лабораторные исследования по лазерной флуориметрии и фотометрии культур водорослей в зависимости от стадии развития

Исследование изменения параметров спектров флуоресценции морской воды во время жизненного цикла диатомой водоросли *Pseudo-Nitzschia*

Для исследования изменений биооптических параметров морской воды во время развития клеток фитопланктона, воспроизводства и трансформации сопутствующих растворенных органических веществ проведен эксперимент за наблюдением оптических свойств воды, в которой развивалась морская диатомовая водоросль *Pseudo-nitzschia*. Живая водоросль помещалась в чистую морскую воду, после чего однократно были добавлены питательные вещества, затем пробы с морской водой содержались в трех различных резервуарах. На протяжении всего эксперимента условия хранения образцов были одинаковы и не менялись по ходу всего эксперимента. Наблюдение производилось в течение одного месяца. Все пробы, отбираемые перед измерением спектров флуоресценции, помещались в темное помещение на 30 минут для светоадаптации водоросли. Перед измерением кювета промывалась дистиллированной водой, затем высушивалась.

Измерения проводились на спектрофлуориметре Cary Eclipse фирмы Varian (Австралия) (Рисунок 5.2.1). Управление прибора происходило с персонального компьютера с операционной системой Windows NT. Технические характеристики флуориметра приведены в таблице 5.2.1

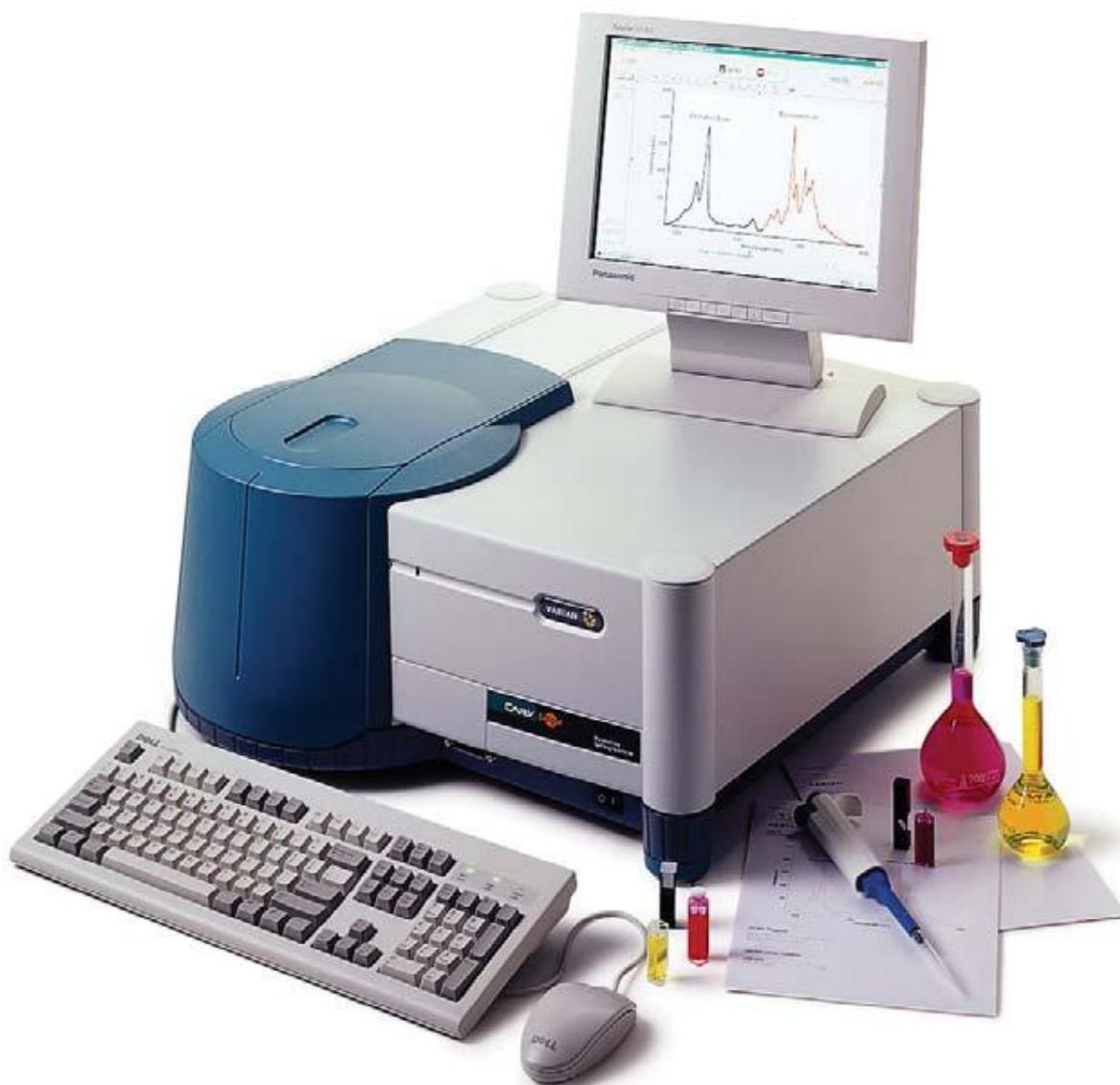


Рисунок 5.2.1 – Фотография спектрофлуориметра Varian Cary Eclipse.

Таблица 5.2.1

Технические характеристики флуориметра.

<i>Источник возбуждения – ксеноновая лампа-вспышка</i>	
Частота излучения	80 Гц
Полуширина импульса	2 мкс
Максимальная мощность	75 кВт
Рабочий спектральный диапазон	190 – 1100 нм
Спектральное разрешение	1.5 – 20 нм
Скорость сканирования	0.01 – 24000 нм/мин
<i>Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) R928 (Hamamatsu):</i>	
Рабочий спектральный диапазон	185 – 900 нм
Длина волны максимальной чувствительности	400 нм
Квантовая эффективность	до 30 %
Максимальное подаваемое напряжение	400 – 1000 В
Время усреднения сигнала в режиме флюоресценции	0.0125 – 999 с

У данной установки существует ряд недостатков: во-первых, использование лампового излучателя не позволяет эффективно возбуждать флюоресценцию РОВ зеленым излучением, а во-вторых, установка не разработана в проточном варианте, что не позволяет проводить измерения по ходу судна. Поэтому в дальнейшем предполагается использование данного прибора совместно с судовым двухчастотным лазерным флуориметром (длины волн возбуждения 355 и 532 нм).

Настройки прибора, которые использовались во время измерений, показаны в таблице 5.2.2. Значения выбраны из соображений допустимого

времени измерений (около 30 мин на пробу) и допустимых ошибок сигнала флуоресценции.

Таблица 5.2.2

Настройки спектрофотометра Varian Eclipse при измерении трехмерных спектров флуоресценции

	1 диапазон	2 диапазон	3 диапазон
$\lambda_{\text{воз}}$	240 – 390 нм	250 – 440 нм	310 – 450 нм
$\lambda_{\text{исп}}$	260 – 590 нм	270 – 680 нм	320 – 750 нм
$\Delta\lambda_{\text{воз}}$	5 нм	5 нм	5 нм
$\Delta\lambda_{\text{исп}}$	5 нм	5 нм	5 нм
Время накопления	0.1с	0.1с	0.1с
Скорость сканирования	3000 нм/мин	3000 нм/мин	3000 нм/мин
Напряжение на ФЭУ	1000В	1000В	1000В
Ширина щели для возбуждающего излучения	5 нм	5 нм	5 нм
Ширина щели для испускаемого излучения	5 нм	5 нм	5 нм

На Рисунок 5.2.2 показан пример трехмерного спектра флуоресценции морской воды. Зеленой и красной линиями показано положение первого и второго порядка упругого рассеяния возбуждающего излучения. На спектре видны пики, соответствующие определенным флуорофорам. Были выявлены следующие пики относящиеся к флуоресценции: протеиноподобные растворенные органические вещества (РОВ) (P1, P2), гуминоподобные РОВ (Н1, Н2), хлорофилла-а (СА), плечо хлорофилла-а (F730). Так же на последней стадии эксперимента был обнаружен пик относящийся к продуктам деградации хлорофилла-а, возможно он наблюдался и ранее, но из-за сильной

интенсивности флуоресценции хлорофилла-а он не был виден и определялся как фоновое значение. В таблице 5.2.3 приведены обозначения, положения и описание пиков, наблюдаемых в ходе эксперимента. Жирным шрифтом в таблице выделены те пики, которые наблюдались на всех спектрах в течение всего эксперимента. Для данных пиков был проведен анализ их временной изменчивости, который показан на Рисунке 5.2.3.

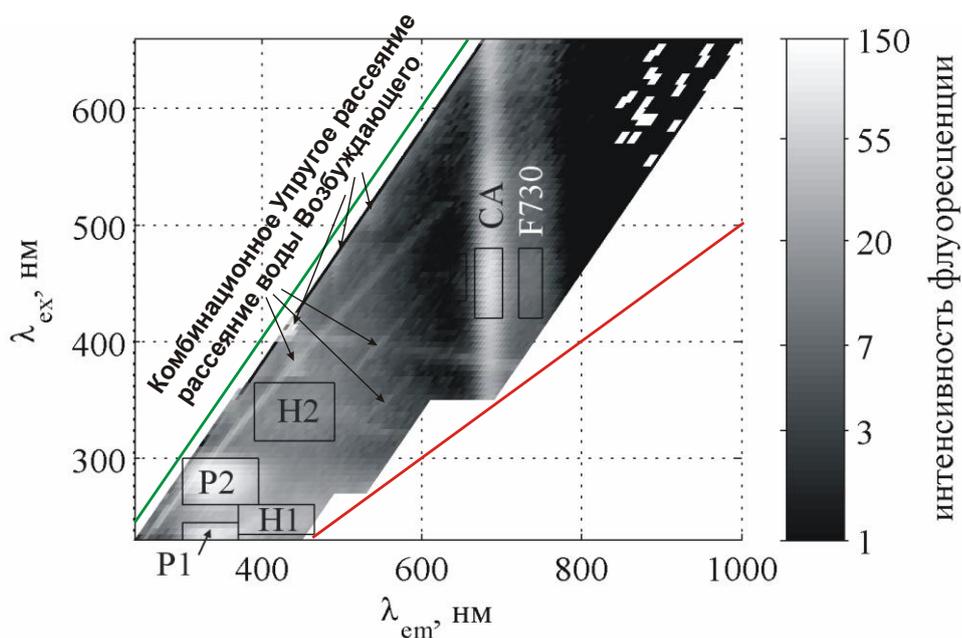


Рисунок 5.2.2 – Трехмерный спектр ограниченный приборными характеристиками.

Таблица 5.2.3 – Пики флуоресценции основных веществ на трехмерном спектре морской воды в процессе жизнедеятельности диатомовой водоросли *Pseudo-nitzschia*.

Название пика	Обозначения автора	Обозначения Koble	λ_{ex}	λ_{em}
Гуминоподобные РОВ	H1	A	235-260	375-445
	H2	M	310-350	405-460
Протеиноподобные РОВ	P1	B	230-245	280-360
	P2	T	260-300	310-390
Хлорофилл –a	CA		350-670	675-690
	F730			715-745

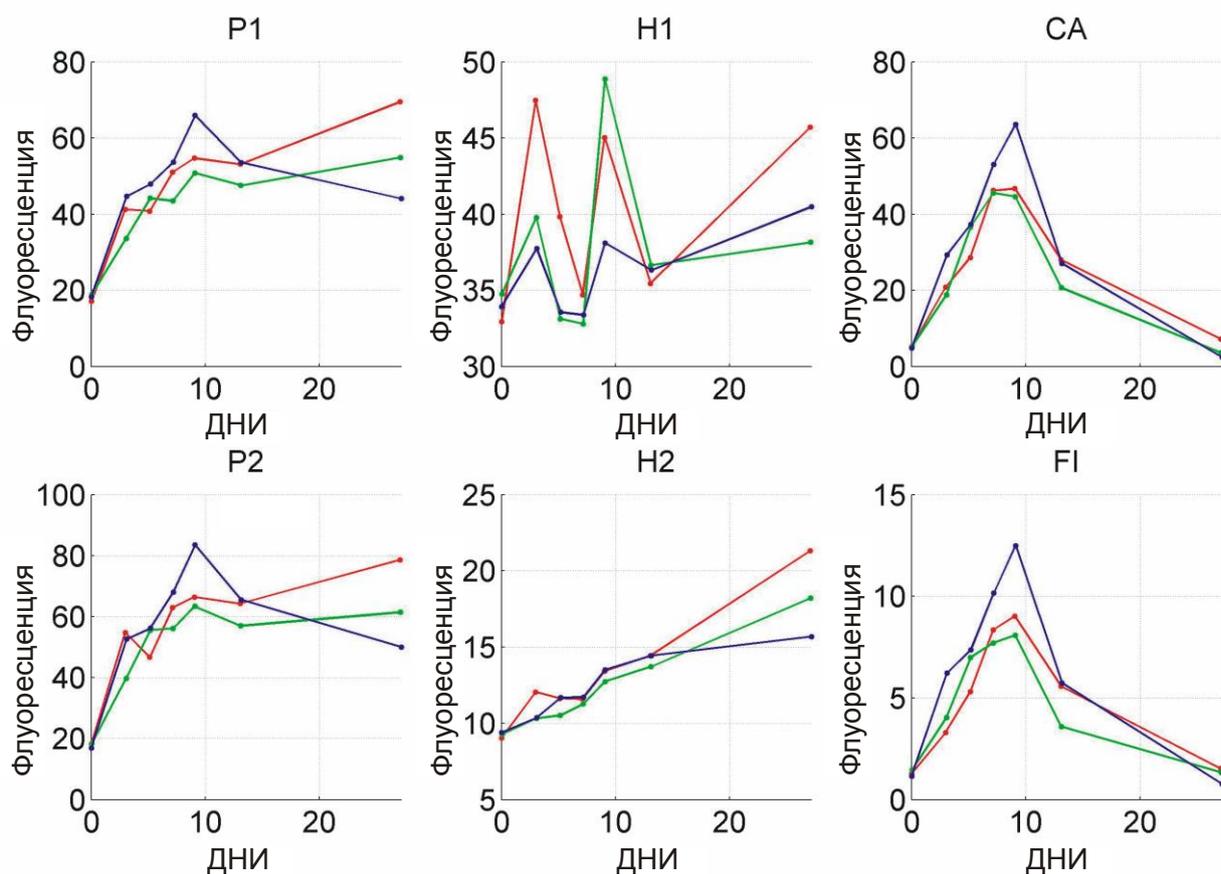


Рисунок 5.2.3 – Ход среднего значения пиков флуоресценции в течение эксперимента.

Максимальное значение интенсивности флуоресценции хлорофилла-а (СА и F730) наблюдалось на 7-9 сутки после начала эксперимента. До этого же момента резко увеличивались пики P1 и P2, после чего их значения практически не изменялись до конца эксперимента. Гуминоподобный пик H2 постоянно и практически линейно увеличивался в течение всего периода наблюдений. Поведение пика H1 имело сложный периодический характер.

Для получения дополнительной информации о природе пиков флуоресценции проанализированы данные по концентрации хлорофилла-а и количеству живых клеток (рис 5.2.4).

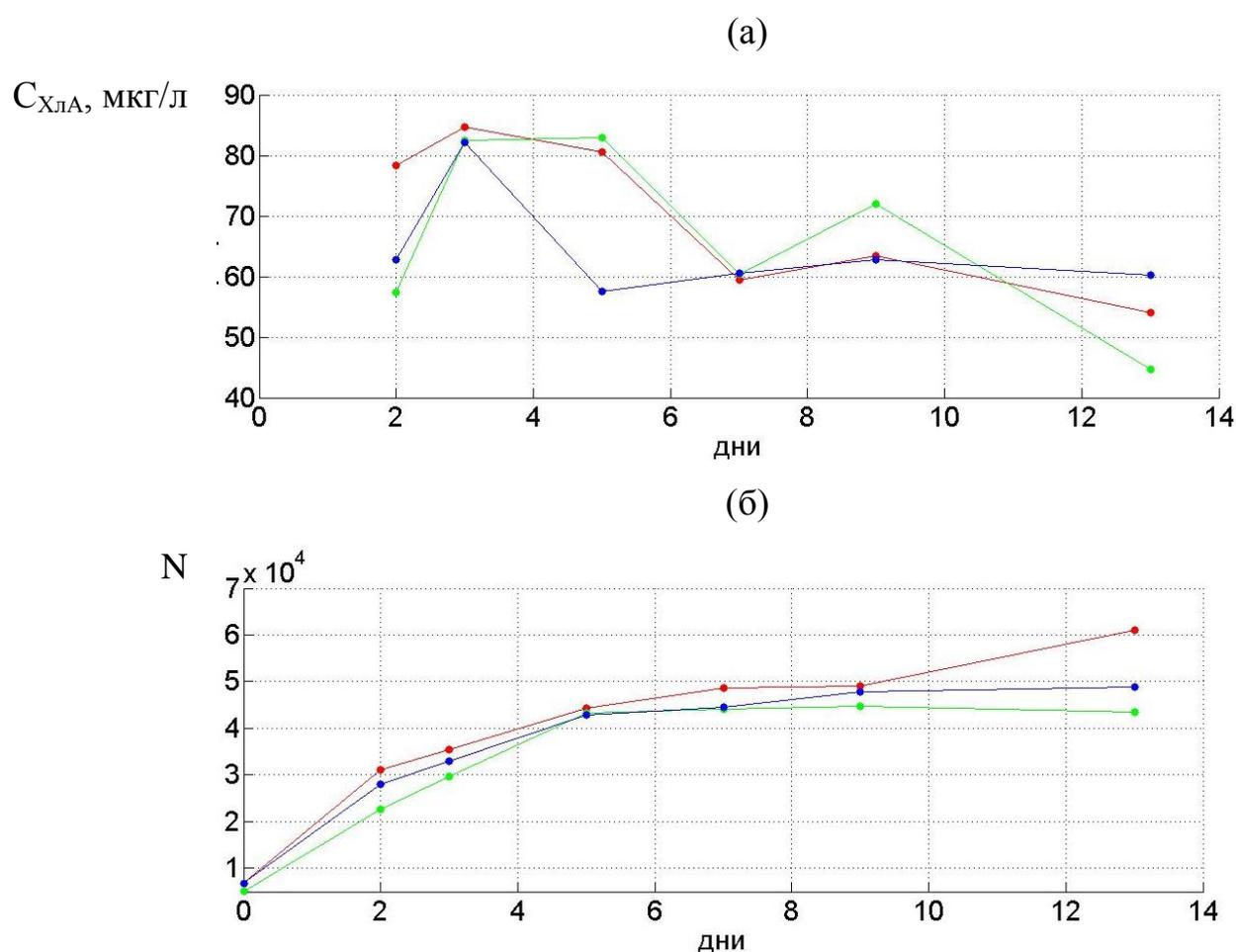


Рисунок 5.2.4 – Результаты контактных наблюдений. Количество клеток водоросли (а); концентрация хлорофилла-а (б).

Видно, что временной ход количества клеток фитопланктона и интенсивности протеиноподобных растворенных органических веществ идентичен, это же можно видеть на диаграммах рассеяния рис 4.2.5.

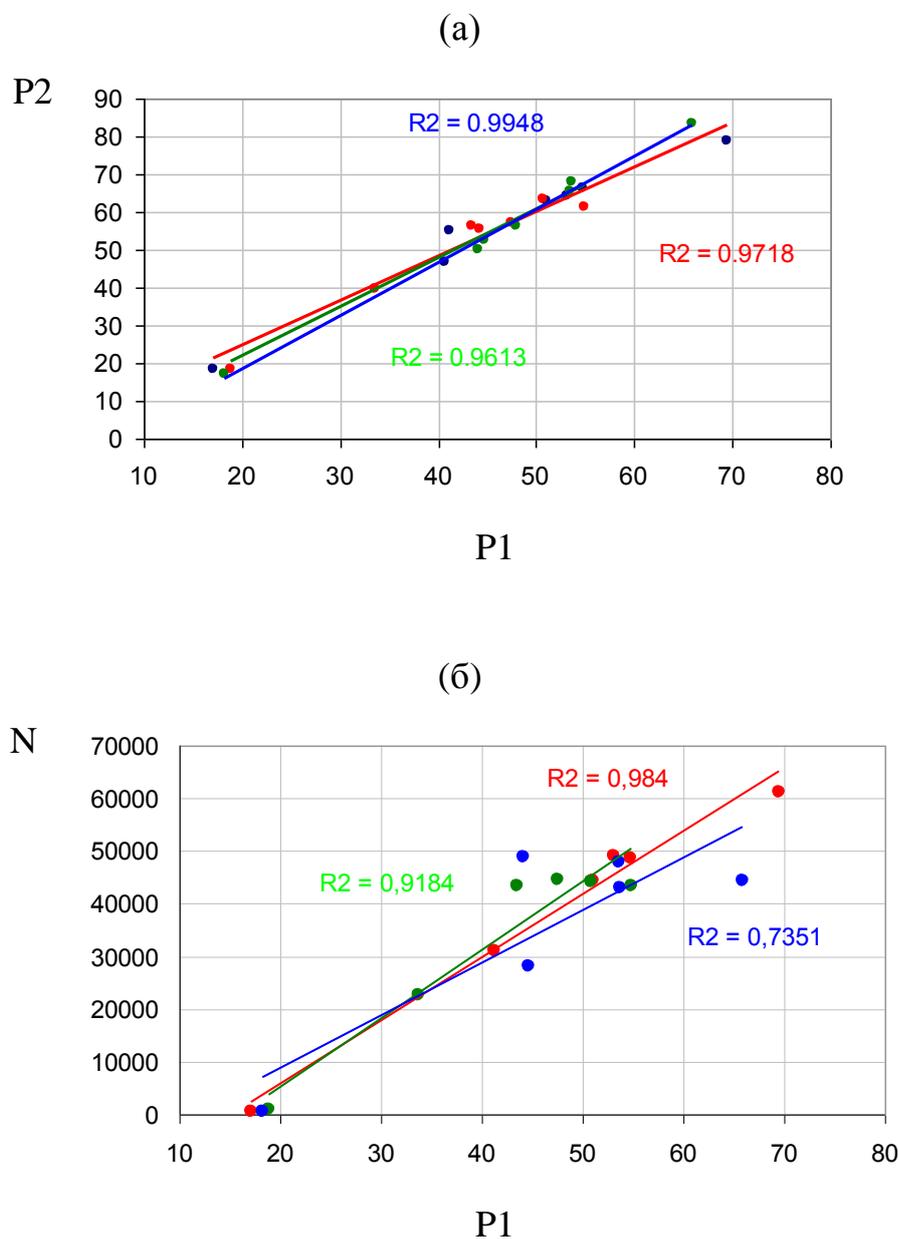


Рисунок 5.2.5 – Диаграмма рассеяния интенсивностей пиков P1 и P2 (а); диаграмма рассеяния количества клеток фитопланктона N и интенсивности пика P1 (б).

В связи с идентичностью временных рядов интенсивности флуоресценции протеиноподобных растворенных органических веществ и количества живых клеток (статистически значимые коэффициенты корреляции около 0.9) можно сделать предположение, что сигналы P1 и P2 определяются продуктами жизнедеятельности клеток фитопланктона или входят в состав самой клетки.

Перейдем к анализу пиков H1 и H2. Из определения гуминоподобных вещества – это вещества, являющиеся результатом разложения сложных органических молекул. Это могут быть как продукты жизнедеятельности клеток, так и сами клетки после гибели. Поведение пика H2 согласуется с этим утверждением, т.к. его интенсивность непрерывно повышается в ходе эксперимента, что можно связать с непрерывным разложением отмерших клеток фитопланктона и их продуктов жизнедеятельности. С пиком H1 ситуация не столь однозначна, форма его поведения имеет сложный периодический характер. Подобное поведение наблюдается у концентрации хлорофилла-а. На временном ходе флуоресценции хлорофилла-а не столь явно, но тоже проявляется два пика. Видно, что фон, на котором находятся локальные максимумы временного хода пика H2, ведет себя подобно временному ходу пика H1. А само наличие локальных максимумов, совпадающих с концентрацией хлорофилла-а пока объяснению не подлежит. Также необходимо обратить внимание, что пик H1 – единственный, который наблюдался до разведения водорослей (Рисунок 5.2.6). Таким образом, H1 по всей видимости представляет собой сумму продуктов распада и неопределенных компонент, связанных с концентрацией хлорофилла-а.

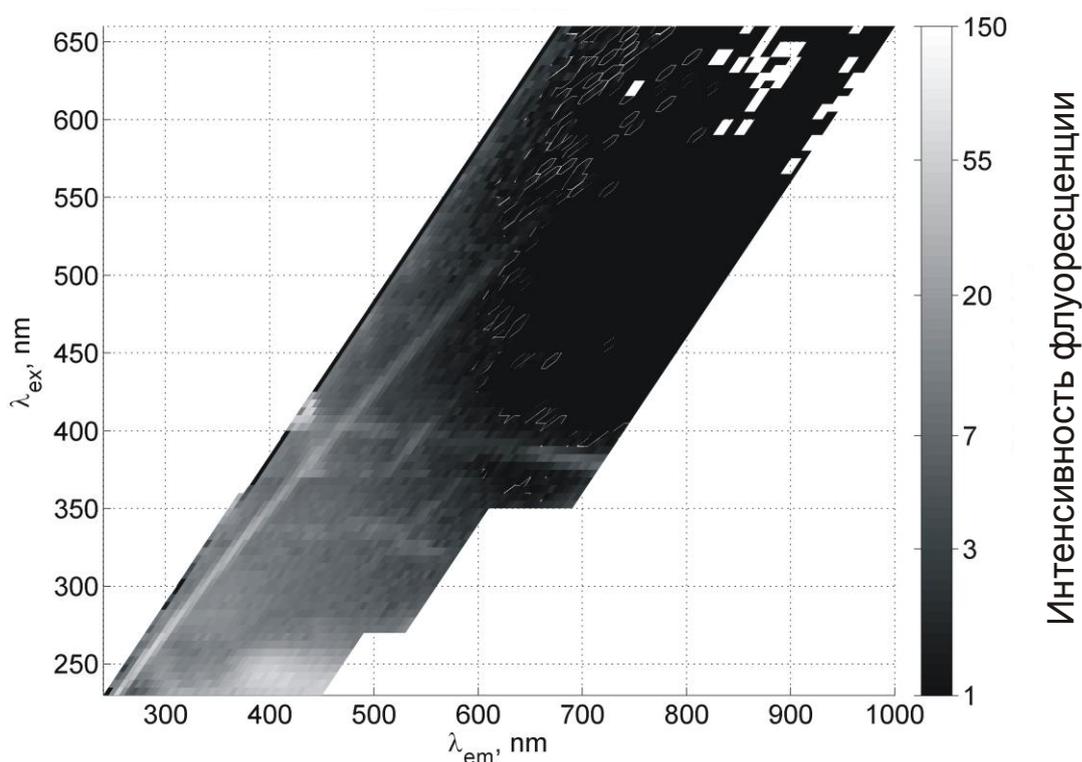


Рисунок 5.2.6 – Трехмерный спектр флуоресценции чистой морской воды до добавления в нее водоросли.

Дополнительным аргументом в пользу представленной интерпретации природы выделенных пиков флуоресценции являются результаты, полученные при термической обработке образцов воды. Так после нагрева морской воды произошло ингибирование клеток фитопланктона, после чего с одной стороны исчезла флуоресценция СА и F730 и понизился сигнал флуоресценции пиков протеиноподобных РОВ Р1 и Р2, а с другой стороны повысилась интенсивность флуоресценции гуминоподобных пиков Н1 и Н2.

Это может быть объяснено сделанными выше предположениями о том, что пики Р1 и Р2 – связаны с флуоресценцией веществ, являющимися продуктами жизнедеятельности фитопланктона или входящими состав его клеток и после температурной обработки они разлагаются на меньшие составляющие.

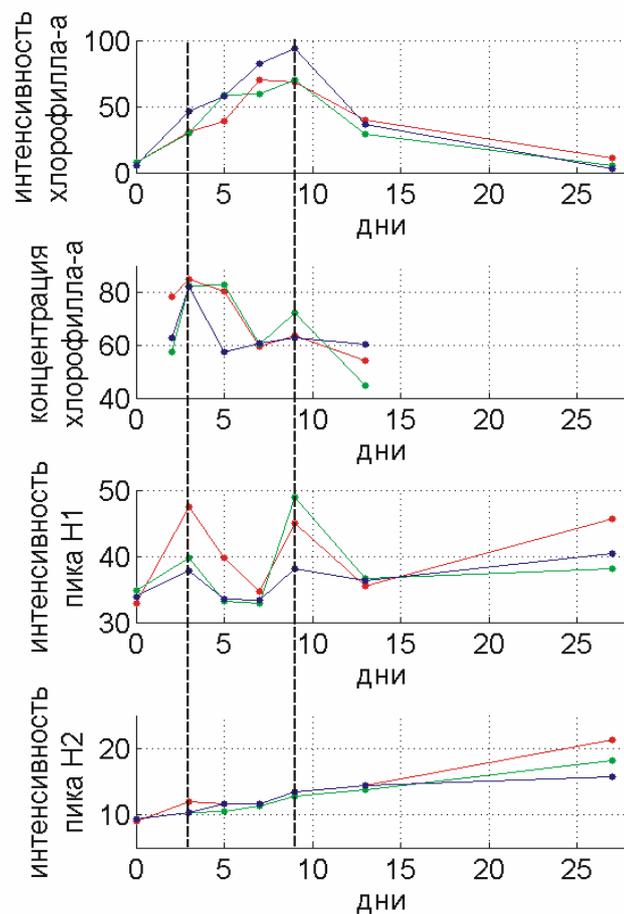


Рисунок 5.2.7 – Анализ природы пиков N1 и N2.

Флуоресценция пиков N1 и N2 связана с флуоресценцией гуминовых веществ, что подтверждается тем фактом, что интенсивность этих пиков возросла после термической обработки, которая вызвала разрушение молекул, находящихся в пробе морской воды.

5.3 Спектральные характеристики (коэффициенты поглощения и рассеяния назад) типичных для залива Петра Великого и вредоносных видов фитопланктона по данным измерений *in situ* в море и в выращенных культурах

Измерения в выращенных культурах. Для разработки алгоритма поиска по спутниковым данным районов со значительными концентрациями вредоносных водорослей были проведены работы по измерению спектральных характеристик культур фитопланктона *Pseudo-nitzschia*, *Alexandrium tamarense*, *Attheya*. Спектральные характеристики (коэффициенты ослабления и рассеивания) измерялись на спектрофотометре Cary Varian -5000 с интегрирующей сферой. Они использовались для расчета основных оптических характеристик – коэффициентов поглощения, полного рассеивания и рассеивания назад. Поскольку прибор не позволяет рассчитывать фазовую функцию рассеяния, а оптические протоколы [4.3.1] (стандарты на проведение измерений и расчетов) не содержат методики для построения этих коэффициентов при подобной конфигурации прибора и измерениях характеристик растворов в кюветах, то созданы основы новой методики проведения таких расчетов. Проведены эксперименты по оценке влияния различных характеристик измерительной системы на конечную точность результата, выведены формулы расчета нужных параметров на основе решения задачи нелинейного программирования и написано программное обеспечение в среде пакета Matlab. Для исключения влияния конфигурации прибора на конечный результат заказано изготовление специальных кювет для проведения дальнейших экспериментов.

Проведение измерений на спектрофотометре

Измерения спектральных коэффициентов выращенных водорослей и продуцируемого ими растворенного органического вещества (РОВ) проводились в прямоугольных кварцевых кюветах с толщиной стенок 1 мм и

расстоянием между внутренними поверхностями стенок 10 мм. Перед проведением измерений растворы тщательно перемешивались. Часть раствора с водорослями фильтровалась фильтрами Whatman GF/C с размером пор 1.2 мкм для получения РОВ. В качестве эталона морской воды бралась вода, взятая в чистом регионе залива Петра Великого с глубины около 0. Рикорда в апреле месяце, когда не наблюдается существенного цветения водорослей. Этот эталон использовался как в экспериментах, так и для выращивания водорослей. И хотя спектрофотометр позволяет проводить измерения в широком спектральном диапазоне, здесь и далее анализ данных и оценки точности делались только для диапазона 400-700 нм. При проведении расчетов использовалась теория слабых растворов. При измерениях использовались три пробы одного и того же вида, взятые из одной колбы, для оценки влияния условий проведения эксперимента на конечную точность. При исследовании характеристик водоросли *Pseudo-nitzschia* на всех стадиях ее жизни выращивание проводилось в трех колбах при одинаковых условиях выращивания, пробы брались по одной из каждой колбы. Во всех экспериментах характеристики пробы и ее РОВ измерялись в одной и той же кювете и при одном и том же положении платформы на которой устанавливалась кювета. Для однотипных экспериментов положение платформы не менялось для всех трех проб и пробы с чистой морской водой

Расчет коэффициента ослабления. В экспериментах по расчету коэффициента ослабления луч, прошедший через кювету, попадал на детектор с углом на мишень 0.7° градусов. Тогда для коэффициента пропускания T можно записать:

$$T = I/I_0(1-R_q)^2 e^{-(a+b)d}, \quad (5.3.1)$$

где T – пропускание, I – интенсивность луча, попавшего в датчик, I_0 – интенсивность опорного луча (при отсутствии пробы), R_q – коэффициент зеркального отражения от одной стенки кюветы, a – коэффициент

поглощения, \mathbf{b} - коэффициент рассеяния, \mathbf{d} – длина пути луча в растворе (10 мм).

Для оценки точности расчетов спектральных характеристик растворов были проведены следующие эксперименты.

- Получена оценка влияния переустановки платформы на конечный результат.
- Оценена зависимость измерений от смены кюветы.
- Рассчитана величина изменения концентрации со временем из-за выпадения осадка в растворе.
- Оценено влияние частиц, попавших в раствор РОВ, что обусловлено фиксированным размером пор использующихся фильтров
- Оценены потери энергии луча для чистой морской воды и растворов при использовании интегрирующей сферы.
- Оценены величины вторичных отражений от стенок кювет.

Поглощение и рассеяние в культуре. Для коэффициента поглощения раствора с культурой можно записать:

$$\mathbf{a}=\mathbf{a}_w+\mathbf{a}_{ph}+\mathbf{a}_g + \mathbf{a}_p,$$

где компонентами являются вода, клетки фитопланктона, РОВ и, возможно, микрочастицы. Величина коэффициента \mathbf{a}_p незначительная, как показали эксперименты. Поэтому пока будем считать, что \mathbf{a}_p – это часть \mathbf{a}_g . Пренебрегаем поглощением кварца – оно ничтожно маленькое.

Для коэффициента рассеяния можно записать:

$$\mathbf{b}=\mathbf{b}_w+\mathbf{b}_{ph}+\mathbf{b}_p+\mathbf{b}_q,$$

где компонентами являются вода, планктон, частицы с размером менее размера пор фильтра и кварц.

Поглощение и рассеяние РОВ. Для РОВ соответствующие формулы примут следующий вид:

$$\mathbf{a}=\mathbf{a}_w+\mathbf{a}_g,$$

$$\mathbf{b}=\mathbf{b}_w+\mathbf{b}_{ph}+\mathbf{b}_q.$$

Коэффициент ослабления для фитопланктона можно рассчитать по следующей формуле:

$$\mathbf{c}_T = -\ln(I_{ph}/I_g)/d=\mathbf{a}_{ph}+\mathbf{b}_{ph}$$

Точность расчета этой величины в соответствии с проведенными экспериментами была не хуже 0.15 m^{-1} . На рисунке 4.3.1 приведены примеры рассчитанных коэффициентов ослабления

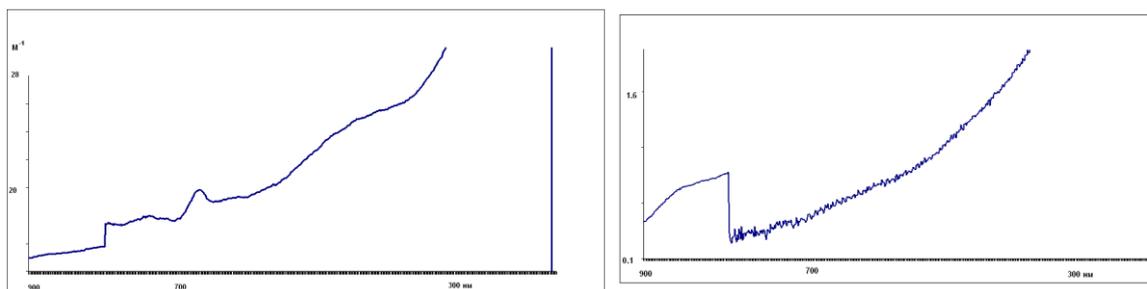


Рисунок 5.3.1. Коэффициенты ослабления вредоносной водоросли *Alexandrium tamarense* и ее РОВ.

Коэффициент ослабления РОВ можно рассчитать по следующей формуле:

$$\mathbf{c}_g = -\ln(I_g/I_w)/d=\mathbf{a}_g+\Delta\mathbf{b}_q,$$

где $\Delta\mathbf{b}_q$ – разница коэффициентов рассеяния двух разных кювет. Данная поправка возникает из-за того, что измерения пробы и чистой воды проводились в разных кюветах.

Измерения с интегрирующей сферой.

Схема измерений приведена на рисунке 4.3..2. Входной порт составляет 0.2% от общей площади сферы, выходной – 0.1% . Поэтому потерями излучения, уходящего через порты будем пренебрегать.

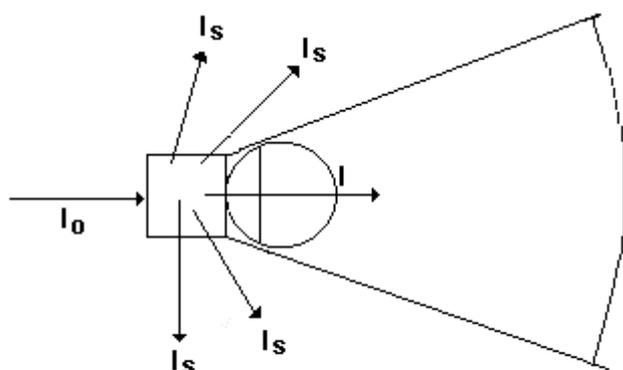


Рисунок 5.3.2. Схема измерений с интегрирующей сферой через входной порт. I_s – потери через боковые стенки

Величину излучения, пришедшую в сферу, можно представить так:

$$I = I_0 \cdot (1 - R_q)^2 \exp^{-b_{b+} d} \cdot \exp^{-ad'} \quad (5.3.2)$$

где b_{b+} - коэффициент рассеяния назад и части рассеяния вперед, ушедших через боковины, дно и верх кюветы, d' – средняя длина пути лучей, вошедших в сферу и прошедших раствор.

Методика определения коэффициентов рассеяния и поглощения фитопланктона.

В соответствии с уравнениями 5.3.1 и 5.3.2 мы получаем систему из двух уравнений:

$$T_1 = I_1 / I_0 = (1 - R_q)^2 \exp^{-(a+b)d},$$

$$T_2 = I_2 / I_0 = (1 - R_q)^2 \exp^{-b_{b+} d} \cdot \exp^{-ad'},$$

где коэффициенты поглощения и рассеяния можно выразить через суммы соответствующих коэффициентов компонент растворов. Дополнительно возможно использовать уравнения, получающиеся при проведения экспериментов с интегрирующей сферой при измерениях через выходной порт (для оценки величины рассеяния назад).

Используя известные аппроксимации фазовой функции рассеяния для фитопланктона и коэффициентов рассеяния, можно свести решение уравнений к минимизационной задаче поиска неизвестных коэффициентов. Предварительные результаты показывают, что коэффициент поглощения рассчитывается с хорошей точностью. Однако из-за неучтенных потерь в основном через боковые поверхности кюветы коэффициенты рассеяния будут определены с большой ошибкой. Поэтому для дальнейших экспериментов заказаны кюветы с зеркальными боковыми поверхностями, для того, чтобы собирать в интегрирующей сфере все излучение, прошедшее через пробу (потери за счет прямого отражения назад оцениваются с хорошей точностью).

Измерения в море. В силу большого разнообразия видов фитопланктона, а также отсутствия в мире технологий выращивания произвольного вида водоросли, непосредственные измерения в море будут доминировать при попытках получения спектральных характеристик конкретной водоросли. Экспедиционные работы прошлого года позволили отобрать 20 проб воды, которые соответствовали в пространстве и времени прямым измерениям спектрорадиометра и спутниковым оценкам параметров точки измерения. К сожалению, в чистом виде монодоминирование водоросли не наблюдается. Поэтому для получения спектральных характеристик отдельного вида отбирались пробы, где биомасса конкретного вида водоросли превышала 50%. Это позволила получить спектральные характеристики трех водорослей - *Ditylum brightwellii*, *Noctiluca scintillans*, *Protoceratium reticulatum*. Последняя водоросль относится к роду, один из видов которого является вредоносным. И

хотя из-за отсутствия знаний спектральных характеристик сопутствующих водорослей нет количественных оценок ошибок использования полученного таким образом характеристик, на качественном уровне спектральные параметры соответствуют именно доминирующему виду. Накопление такой базы данных позволит в будущем получить более достоверные оценки параметров через решение системы линейных уравнений, как это было продемонстрировано в параграфе 3.6.

Оценка коэффициентов рассеяния назад. В результате проведенной работы по статистическому оцениванию параметров биоразнообразия фитопланктона в заливе Петра Великого (параграф 2.2), были получены величины характерных сечений клеток каждого вида микроводорослей. Согласно результатам работы [Коросов А.А., Морозов Е.А., Поздняков Д.В., Петтерссон Л.Х., Грасл Х. Идентификация и картирование ареалов цветения кокколитофоров в Бискайском заливе по спутниковым данным// Исследование Земли из космоса, 2009, №3, с.67-78.] коэффициент рассеяния назад конкретного вида микроводоросли можно аппроксимировать зависимостью:

$$b_b(\lambda) = A(\lambda)C,$$

где C – концентрация водоросли, а $A(\lambda)$ – удельное сечение обратного рассеяния. Характерные сечения видов водорослей, рассчитанных в работе п.1.2, пропорциональны и близки удельным сечениям. Зависимость от длины волны представляет собой экспоненциальную функцию одного параметра, зависящего от характерного сечения. Это позволяет провести калибровку для пересчета характерных сечений в удельные сечения на основе полученных прошлогодних и измеряемых в этом году *in situ* данных видового состава и оптических характеристик воды. Таким образом, мы фактически имеем базу данных одного из двух ключевых параметров водорослей (коэффициента рассеяния назад) для более 300 видов фитопланктона.

5.4 Пространственная изменчивость биооптических и гидрологических характеристик в отдельных районах Японского моря

В первом квартале 2010 года проведено два натуральных эксперимента в Заливе Петра Великого. Первый – наблюдение за динамикой глубинного профиля гидрологических и биооптических параметров морской воды подо льдом в период с 10 февраля по 20 Марта 2010 г. на станции С10/01 (рисунок 5.4.1а). Второй эксперимент – исследование глубинного распределения различных определений флуоресцирующего растворенного органического вещества, выполненных во второй половине мая 2010 г. на станции С10/02 (рисунок 4.4.1б).

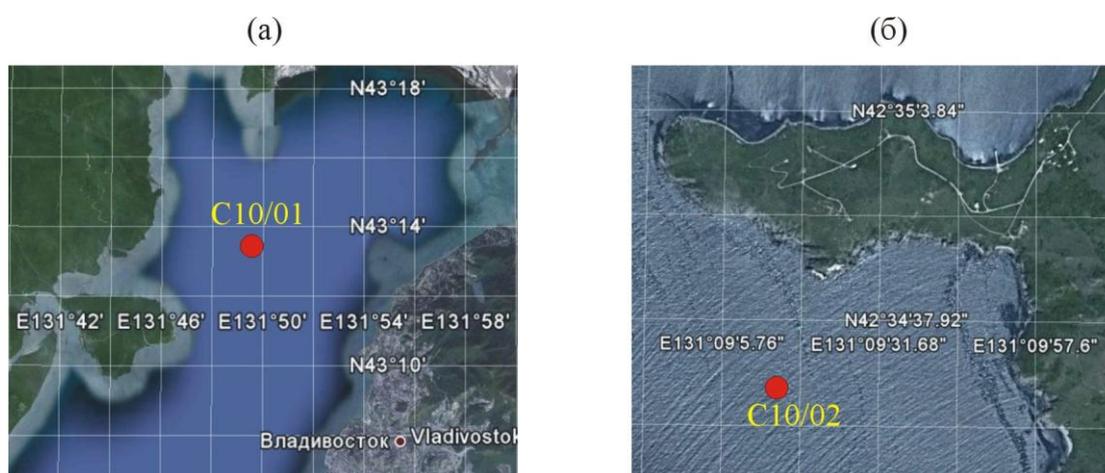


Рисунок 5.4.1 – Географическое положение натуральных измерений гидрологических и биооптических параметров, проведенных в 2010 году.

Эксперимент I. Наблюдение за глубинным распределением гидрологических и биооптических параметров морской воды подо льдом.

Целью эксперимента было определение – способны ли в зимний период в Амурском заливе складываться условия для активного развития фитопланктонных сообществ. Кроме этого исследования позволят воссоздать полную картину годового цикла развития фитопланктонных сообществ в Амурском заливе.

Измерения вертикальных профилей параметров морской воды проводились примерно один раз в неделю с помощью погружаемого профилографа SBE-19 plus с установленными датчиками температуры, электропроводности, давления, флуоресценции хлорофилла-а и растворенных органических веществ (POB), фотосинтетически активной радиации. Период исследований продолжался с 10 февраля по 20 марта 2010 года. Все измерения проводились с поверхности льда.

Первичная обработка данных осуществлялась программой SBEDataProcessing-Win32 с последовательностью операций и параметрами, рекомендованными фирмой-производителем зонда. Временная задержка флуоресцентных датчиков подбиралась таким образом, чтобы глубинный профиль при движении зонда вниз и вверх имели наибольшую корреляцию. Дальнейшая обработка данных осуществлялась в программной среде MATLAB. Была проведена географическая привязка измерений. Выделены участки на профилях, соответствующие опусканию зонда, подниманию зонда и паузе перед погружением.

Результаты исследований представлены на рисунке 5.4.2. Градациями цвета показаны изменения глубинных профилей, анализируемых параметров морской воды, в течение одного месяца. Рисунок 5.4.2а – температура морской воды, рисунок 5.4.2б – соленость морской воды, рисунок 5.4.2в – концентрация хлорофилла-а, изображенная в логарифмическом масштабе, рисунок 5.4.2г – концентрация растворенных органических веществ, изображенная в логарифмическом масштабе.

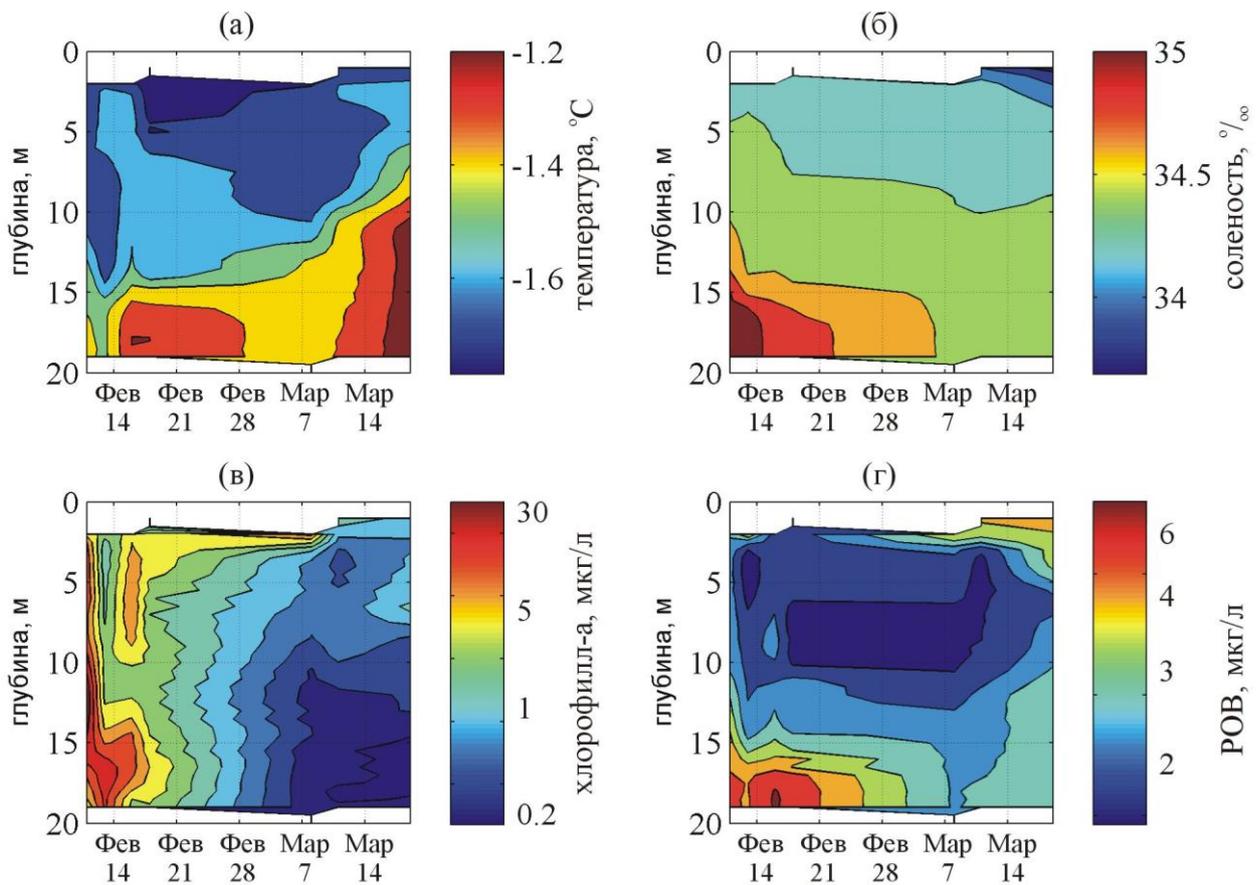


Рисунок 5.4.2 – Временной ход глубинных профилей гидрологических и биооптических параметров морской воды на станции С10/01: (а) температура; (б) соленость; (в) концентрация хлорофилла-а; (д) концентрация растворенного органического вещества.

Как видно из рисунка 5.4.2в в первой половине февраля наблюдалось сильное цветение фитопланктона с концентрациями хлорофилла-а до 30 мкг/л. Это очень высокие значения, которые нами не наблюдались в летне-осенний период, когда концентрации в лучшем случае достигали 10 мкг/л, и сравнимы со значениями в весенний период. Основная масса фитопланктона скопилась около дна, где также наблюдается большое количество растворенных органических веществ, которые могут служить питательными веществами. Часть фитопланктона расположилась на скачке плотности морской воды, на глубине 10 метров. С одной стороны в этом слое меньше питательных веществ,

но с другой – выше освещенность. К началу-середине марта концентрации хлорофилла-а понизились до крайне низких значений менее 0.5 мкг/л, что можно связать с заканчиванием питательных веществ. Последние измерения показывают уменьшение солености с одновременным увеличением содержанием РОВ в верхнем слое, что связано с таянием льда и возрастающим влиянием реки Раздольная. На глубине пять метров происходит постепенное увеличение концентрации хлорофилла-а, что по всей видимости является предвестником весеннего цветения водорослей.

Таким образом, можно сделать следующие выводы. В Амурском заливе в зимний период подо льдом складываются условия, когда на дне присутствуют растворенные органические вещества, которые могут быть использованы для питания фитопланктона, и освещенность на глубине двадцать метров достаточная для развития фитопланктонного сообщества. На этом фоне концентрации хлорофилла-а достигают значений, соизмеримых со значениями, наблюдаемые в весенний период цветения.

Эксперимент II. Исследования глубинного распределения различных определений флуоресцирующего растворенного органического вещества.

Исследования проведены на станции С10/02 (рисунок 4.4.1б), расположенной около мыса Шульца. Положение станции выбрано из соображений отсутствия влияния таких дополнительных источников растворенных органических веществ в морской воде, как сток рек и антропогенная активность близлежащих портов и городов. Таким образом, в данном районе наличие РОВ определяется, в основном, функционированием фитопланктонных сообществ и гидрологическими процессами. Такой выбор местоположения станции позволит исследовать РОВ, в основном биологического происхождения, находящееся на различных стадиях трансформации.

Измерения РОВ различного типа были выполнены с помощью лабораторного лампового спектрофлуориметра, на котором получены трехмерные спектры флуоресценции проб морской воды. Пробы морской воды были отобраны с помощью погружаемого батометра каждые пять метров от поверхности до дна, после чего они были отфильтрованы на бумажных фильтрах и помещены в холодильник. Измерения спектров флуоресценции осуществлялись через три дня после взятия проб. Спектры представляют собой интенсивность флуоресценции, отложенной по осям длины волны испускаемого излучения (λ_{em}) и длины волны возбуждающего излучения (λ_{ex}) (рисунок 5.4.3). Пики, анализируемые в ходе работ, обозначены на рисунке 5.4.3 и приведены в таблице 5.4.1. Классификация пиков основана на анализе литературных данных и на анализе поведения вновь обнаруженных пиков с уже описанными.

Кроме этого одновременно с отбором проб морской воды были выполнены *in situ* и *in vitro* измерения гидрологических и биооптических параметров по схеме, описанной в эксперименте I. Результаты профилирования показаны на рисунке 5.4.4, где изображены профили температуры и солености морской воды, а также концентрация хлорофилла-а и РОВ (линии красного, синего, зеленого и черного цветов, соответственно).

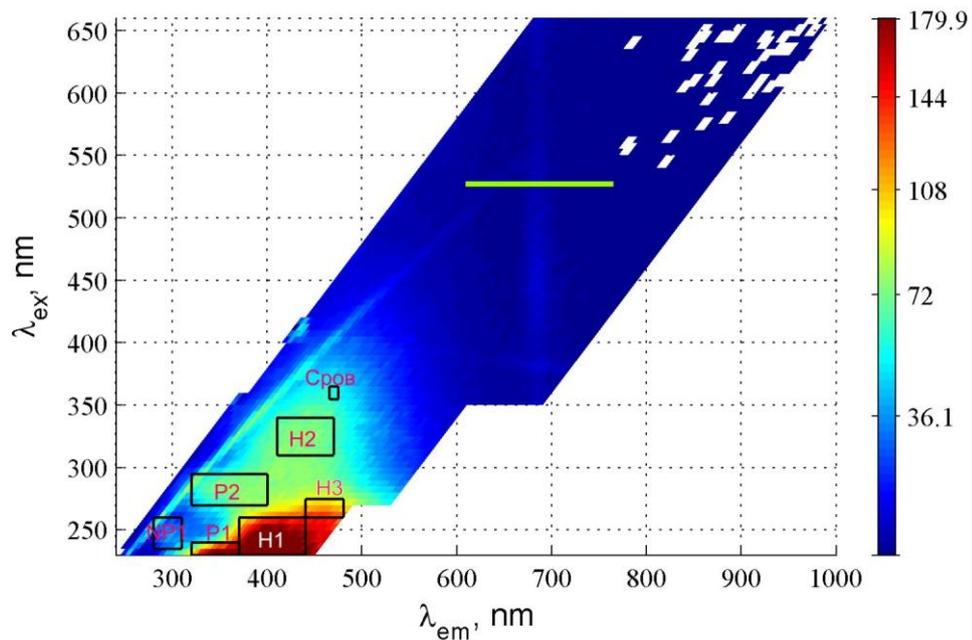


Рисунок 5.4.3 – Трехмерный спектр флуоресценции морской воды.

Таблица 5.4.1

Пики флуоресценции, наблюдаемые на трехмерных спектрах флуоресценции морской воды

название пика	обозначение	λ_{ex} , нм	λ_{em} , нм
гуминоподобные РОВ	H1	230-260	370-440
	H2	310-340	410-470
	H3	260-275	440-480
протеиноподобные РОВ	P1	230-240	320-370
	P2	270-295	320-400
неклассифицированный пик РОВ	NP1	235-260	280-310
хлорофилл –а	CA	350-670	675-690
	F730		715-745

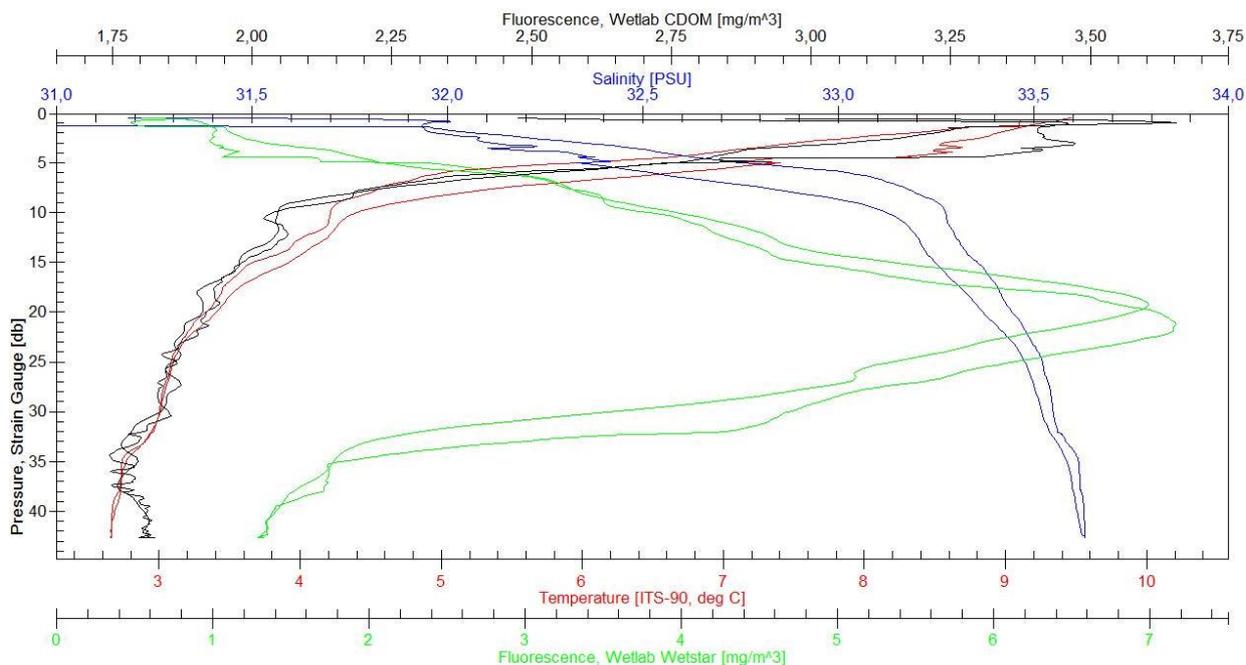


Рисунок 5.4.4 – Гидрологические и биооптические параметры на станции C10/02.

На рисунке 5.4.4 видно, что максимум активности фитопланктона наблюдается на глубине около 20 метров. При этом здесь нет возрастания РОВ, измеренного с помощью погружаемого профилографа SBE 19 plus. Стоит отметить, что при аналогичных измерениях, выполненных в сентябре 2009 года в этой же точке, на глубине 20 метров также наблюдалась максимальная активность фитопланктона, но одновременно с сильным возрастанием флуоресценции РОВ. На рисунке 5.4.5 в качестве примера обработаны результаты работы на станции C09/02, выполненные 31 августа 2009 года, в заливе Посьет. В процессе наблюдений можно выделить три класса вод: I – распределение за счет выноса речных вод; II – воды с растворенными органическими веществами (РОВ), не связанными с функционированием фитопланктонных сообществ; III – воды, где наличие РОВ определяется жизнедеятельностью клеток фитопланктона (слой вод в диапазоне глубин 10-22м). РОВ во втором классе вод, по всей видимости, получено за счет отмирания клеток фитопланктона.

Отметим, что двухслойная картина РОВ (с максимумами в слое активности фитопланктона и около дна) – типична для данного сезона практически для всех вод залива Петра Великого с глубинами в диапазоне 30-70 метров.

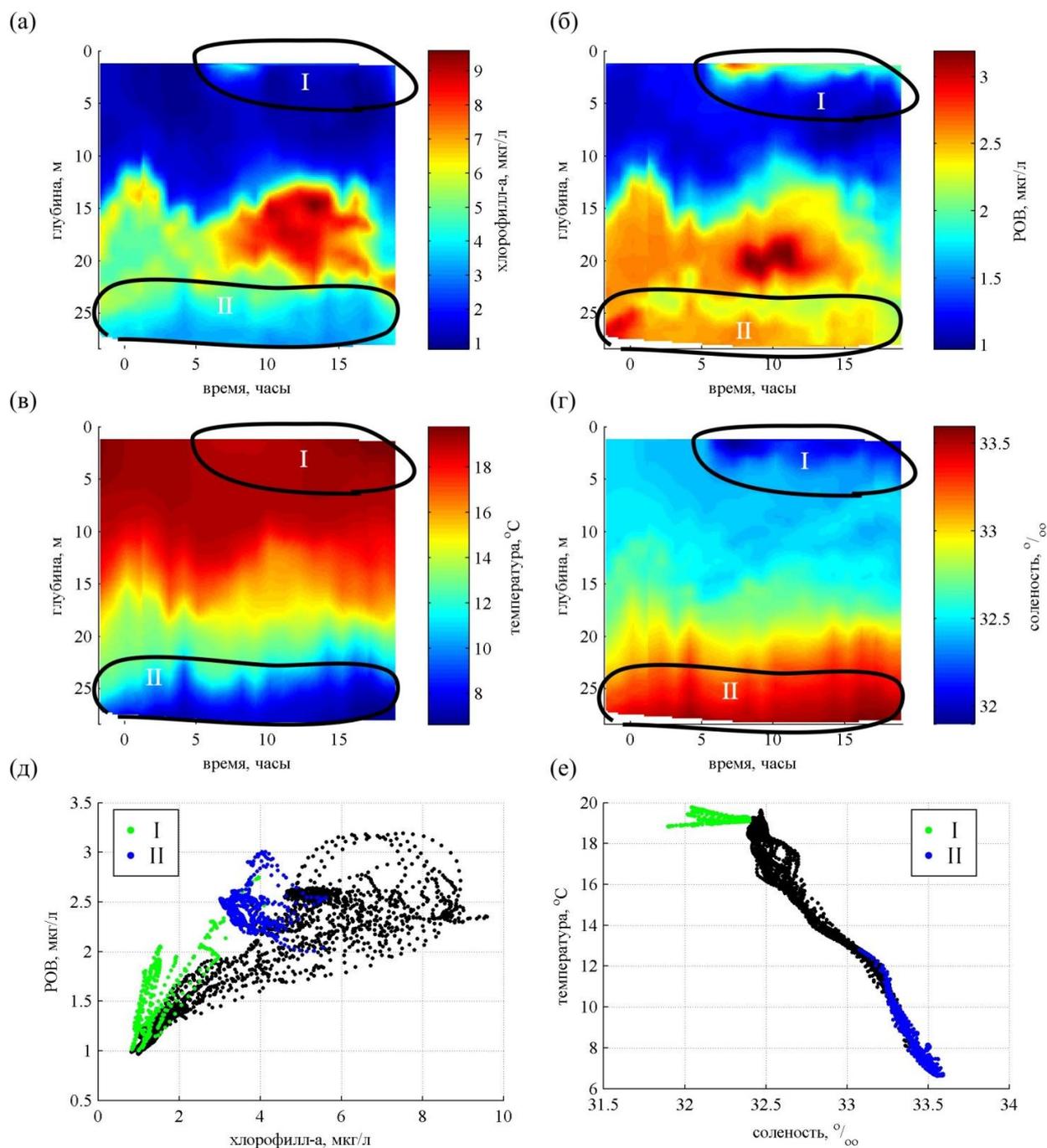


Рисунок 5.4.5 – Результаты глубинного профилирования гидрологических и биооптических параметров морской воды на суточной станции 1 с 31 августа по 1 сентября 2009 года в заливе Посьет.

Присутствие двухслойного распределения РОВ в августе-сентябре и отсутствие такой картины в мае может быть связано с тем, что в мае цветение водорослей только начинается и в слое максимальной активности фитопланктона еще не накоплено достаточное кол-во РОВ, измеряемое профилогрофом. В рассматриваемом профиле на рисунке 5.4.5, максимум РОВ приходится на поверхность и постепенно уменьшается ко дну, где наблюдается небольшой всплеск концентрации. Кроме этого в верхнем слое наблюдается вода с пониженной соленостью и повышенной температурой. Учитывая, что в районе станции С10/02 нет стока крупных рек, а в течение недели до проведения измерений наблюдалось большое количество осадков, РОВ верхнего слоя от 0 до 5 метров можно связать с выпадением дождей. РОВ на глубинах около 20 метров должны быть связаны с активностью фитопланктона, РОВ около дна – это осевшие вещества, различного происхождения.

На рисунке 5.4.6 представлено вертикальное распределение различных определений РОВ, полученных из трехмерных спектров флуоресценции. Видно, что в верхнем слое, где должен наблюдаться РОВ, привнесенный дождями – наблюдается повышение только гуминоподобных пиков Н2 и Н3. В слое активности фитопланктона понижаются все гуминоподобные и протеиноподобные пики Н1, Н2, Н3 и Р1, Р2, но повышается величина не классифицированного пика NP1. По мере приближения ко дну увеличивается флуоресценция всех анализируемых пиков. Схематически результаты представлены в таблице 5.4.2.

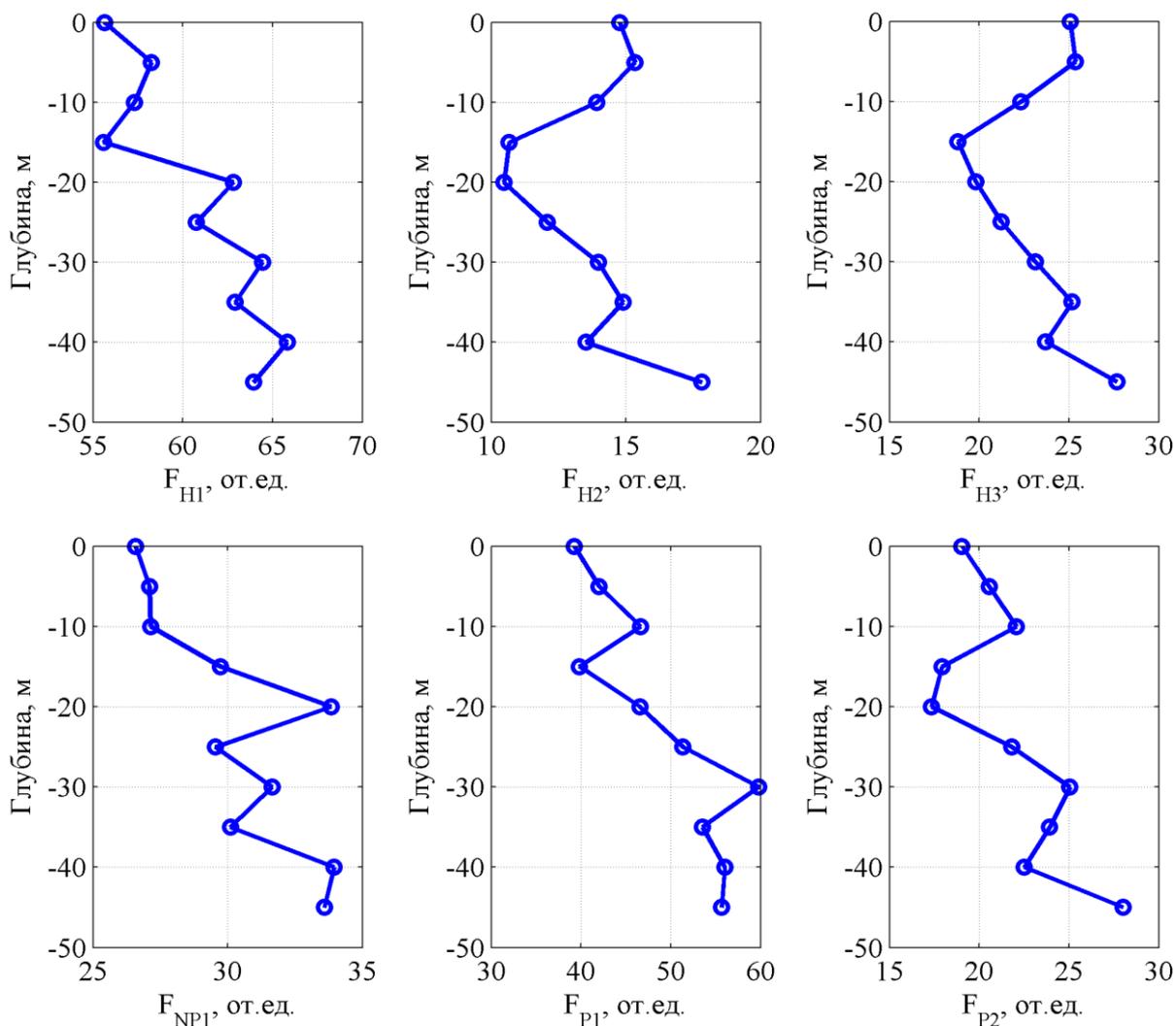


Рисунок 5.4.6 – Глубинные профили флуоресценции флуорофоров различного типа.

Таким образом, из эксперимента II можно сделать следующие выводы. Гуминоподобные пики H2 и H3 ведут себя подобным образом. Гуминоподобный пик H1 отличается от H2 и H3, причем это повторяется на протяжении нескольких экспериментов, проведенных нами ранее. Глубинные профили протеиноподобных пиков в целом похожи на гуминоподобные за исключением верхнего слоя, где наблюдалось поступление РОВ с дождями, что приводило к повышению интенсивности гуминоподобных пиков. В слое активности фитопланктона происходит «выедание» РОВ, флуоресцирующего на всех пиках Н и Р. Единственный пик, который увеличил свою интенсивность

в слое активности фитопланктона – NP1, что говорит либо о том, что он обусловлен органическими веществами, произведенными фитопланктоном, и тут же не поглощаемыми им в процессе жизнедеятельности, либо связан с органическими веществами, входящими в состав самой клетки фитопланктона. По мере приближения ко дну наблюдается рост всех пиков, что связано с тем, что на дне скапливается смесь из РОВ всевозможных типов, находящихся на разных периодах разложения.

Таблица 5.4.2

Сопоставление источников происхождения растворенных органических веществ и изменение интенсивности флуоресценции рассматриваемых пиков

Источники происхождения РОВ	Уменьшение интенсивности флуоресценции	Увеличение интенсивности флуоресценции
0 -5 метров РОВ, привнесенные дождями	NP1, H1, P1, P2	H2, H3
15-25 метров РОВ, связанные с активностью фитопланктона	H1, H2, H3, P1, P2	NP1
35 – 45 метров Придонные РОВ		H1, H2, H3, P1, P2, NP1

VI МЕРОПРИЯТИЯ ПО ТЕКУЩЕМУ СОДЕРЖАНИЮ И МОДЕРНИЗАЦИИ УСУ

6.1 Модернизация станции МЕТЕОРИТ

Станция МЕТЕОРИТ, предназначенная для приёма информации с полярно-орбитальных спутников, имеет ряд существенных недостатков, а именно:

1. Станция собрана на лампах и поэтому требует прогрева перед началом работы.
2. Станция питается от трёхфазной сети 400гц и требует наличие мощного электромашинного преобразователя. Вследствие этого процедура включения её достаточно громоздкая и требуется оператор. Все приводные двигатели, магнитные усилители, тахогенераторы, датчики и индикаторы азимута и угла места питаются от сети 400гц.
3. Используемые цифровые датчики азимута и угла места неоднократно ремонтировались (находятся в эксплуатации более 20 лет) и не обеспечивают необходимой точности слежения за современными спутниками.
4. Компьютер, обеспечивающий сопровождение спутников, связан со станцией через адаптер, выполненный в стандарте САМАС. При этом используется крейт САМАС. Это оборудование также неоднократно ремонтировалось (находится в эксплуатации более 25 лет) и надёжность его низкая.

В силу вышеназванных причин было принято решение о коренной модернизации системы сопровождения станции МЕТЕОРИТ. Для решения этой задачи в 2010г. был разработан и изготовлен программно – аппаратный модуль для реализации протокола En Dat 2.2, по которому работают приобретённые цифровые высокоточные (25 бит/об) абсолютные датчики угла ROQ437 фирмы HEIDENHAIN. Модуль был испытан в лабораторных условиях и показал свою работоспособность. На антенной колонке испытания

проводились на канале азимута в макетном стенде, в который был установлен датчик ROQ437. В макетном стенде используется антенная колонка, совершенно идентичная рабочей. При установке датчика использовалась скользящая соединительная муфта. Испытания проводились в режиме ручного задания целеуказаний с помощью вспомогательного пульта. В качестве регуляторов скорости вращения приводных двигателей применены частотные преобразователи VFX40-004. При этом антенная колонка достаточно хорошо обрабатывала задаваемые целеуказания (статическая ошибка составляла приблизительно пять угловых минут).

В настоящее время ведутся слесарно-механические работы по установке датчиков на антенном стенде с использованием специальных соединительных пружинных муфт для компенсации несоосности соединяемых валов, для чего изготавливаются специальные кронштейны для установки датчиков.

Структурная схема модернизированной системы сопровождения приведена на рисунке 6.1.1., а на рисунке 6.1.2. - её макетный стенд.

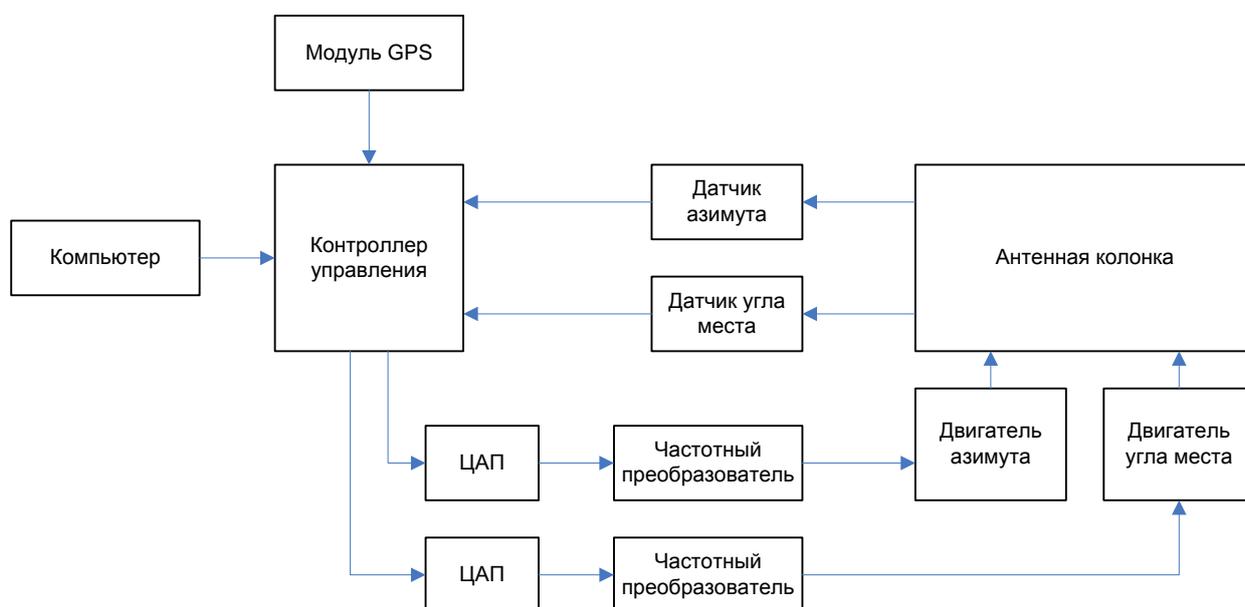


Рисунок 5.1.1. Структурная схема модернизированной системы сопровождения.



Рисунок 6.1.2. Макетный стенд модернизированной системы сопровождения, включающий в себя систему управления (на переднем плане корпус с тремя платами), далее два частотных преобразователя VFX40-004 (первый с открытой крышкой) и на заднем плане собственно антенная колонка. На корпусе второго преобразователя виден датчик ROQ437.

Основой модернизированной системы управления является контроллер управления на базе высокопроизводительного 32-х разрядного микроконтроллера Atmel AT32UC3A-0512. Контроллер управления состоит из трёх плат, на которых смонтирован микроконтроллер и согласующие элементы. Контроллер управления имеет в наличии:

- Асинхронный последовательный порт (USART), предназначенный для подключения модуля GPS.
- Порт USB 2.0 Full Speed для обновления микропрограммы и обмена данными с компьютером.

- Параллельную шину для выдачи кода ошибки, корректирующей положение антенны.
- Синхронный последовательный интерфейс (SSC) с драйверами шины RS-485, используемый для подключения датчиков положения антенны.
- Высокоточный модуль реального времени (RTC).

В качестве GPS-приёмника был использован модуль Trimble ACE3. Для преобразования кода ошибки по двум координатам был приобретён модуль ЦАП на базе микросхем к594па1. Для определения координат (угол места и азимут) положения антенны используются два датчика ROQ437 фирмы Heindenhein. Для взаимодействия с датчиками нами был реализован протокол EnDat 2.2 на базе интерфейса SSC. Частотные преобразователи VFX40-004 используются в схеме управления двигателями 50 Гц.

Работа комплекса заключается в следующем:

1. Компьютер загружает из сети телеграммы и генерирует массивы целеуказаний для ближайшего сеанса приёма данных со спутника.
2. За заданный интервал времени до приёма происходит инициализация режима сопровождения. Интервал должен быть достаточен для гарантированного проведения инициализации до момента начала приёма. При инициализации режима сопровождения:
 - a. Компьютер сообщает контроллеру управления время начала приёма.
 - b. Контроллер управления опрашивает модуль GPS и получает точное время, после чего синхронизирует встроенный модуль RTC.
 - c. Это же время используется для синхронизации часов компьютера.
 - d. Компьютер начинает загрузку целеуказаний в контроллер управления.

3. При наступлении момента времени, соответствующего началу сеанса приёма спутниковых данных, контроллер переходит в режим сопровождения. При этом:
- a. Каждые 2 мс происходит опрос датчиков и чтения текущего положения антенны.
 - b. Контроллер управления выбирает из встроенного буфера очередное целеуказание (время и соответствующие ему координаты положения)
 - c. Текущие координаты (полученные с датчиков) вычитаются из требуемых (заданные целеуказаниями) координат, результирующий код ошибки выдаётся в цифровой форме на 24-ти разрядную шину (12 бит на координату). Код ошибки характеризует величину текущего отклонения антенны от требуемого. При этом величина кода характеризует скорость движения антенны (больше отклонение – больше скорость), а знак – направление.
 - d. Код преобразуется в аналоговую форму, и поступает на схему управления двигателем. Каждый канал схемы построен на базе частотного преобразователя VFX40-004.
 - e. На двигатель поступает напряжение, заставляющее антенну двигаться в направлении, приводящем к минимизации ошибки. Таким образом, в режиме сопровождения комплекс работает как система с обратной связью по положению.
 - f. В режиме сопровождения контроллер управления полностью автономен и не требует взаимодействия с компьютером. Тем не менее, компьютер может получать информацию о статусе комплекса. Если массив целеуказаний не помещается в буфер контроллера управления целиком, при половинном опустошении буфера компьютер, по требованию контроллера, производит дозагрузку целеуказаний.

4. По завершении сеанса приёма комплекс переходит в режим ожидания, до начала следующей процедуры инициализации режима сопровождения.

На настоящий момент в рамках модернизации станции МЕТЕОРИТ были произведены следующие работы:

1. На базе контроллера управления, датчика ROQ437, модуля ЦАП, частотного преобразователя VFX40-040, а также двигателя на 50 Гц и макетной антенной колонки был собран макет системы сопровождения. Были произведены тесты процесса сопровождения на основе целеуказаний, задаваемых вручную, для обоих каналов.
2. Попытка адаптации использованного ранее программного комплекса сопровождения, позволяющего подготавливать целеуказания, управлять процессом сопровождения и выдавать диагностическую информацию, необходимую для отслеживания состояния станции, показала его несовместимость с существующей аппаратно-информационной базой. В силу чего необходимо проведение следующих дополнительных работ:
 - a. разработка протокола обмена информацией и командами между компьютером и контроллером через шину USB 2.0;
 - b. создание драйверов и программных интерфейсов для реализации протокола на компьютере;
 - c. создание процедур обработки прерываний и взаимодействия с основной микропрограммой на микроконтроллере AVR32.
 - d. макетирование и реализация графического пользовательского интерфейса с использованием средств современных операционных систем
 - e. модернизация программы расчета целеуказаний (повышение точности за счёт увеличения частоты их выдачи)

В соответствии с чем были разработаны:

- a. Протокол обмена сообщениями и определён набор инструментальных средств, необходимых для его реализации на компьютере и в микроконтроллере.
- b. Макет нового графического пользовательского интерфейса, совместимого с новым протоколом и комплексом сопровождения. Интерфейс реализует функции, аналогичные присутствующим в устаревшем интерфейсе.

Таким образом, собранный макет системы сопровождения позволяет загружать массивы целеуказаний в контроллер в ручном режиме и производить процесс сопровождения с участием оператора. Использованное ранее (до модернизации) программное обеспечение несовместимо с драйверами аппаратной части модернизированного комплекса; не позволяет производить синхронизацию времени, автоматическое обновление телеграмм, расчет и загрузку целеуказаний, а также автоматический запуск процесса сопровождения по расписанию. Решение данных вопросов требует глубокой модернизации программной части системы, что в настоящий момент и является основным направлением работ.

6.2 Техническое обслуживание и модернизация эксимерного лидара

До второго этапа работ по контракту в распоряжении УСУ «ЛаМИ» находились две лидарные установки – тропосферный лидар упругого рассеяния на твердотельном лазере NdYAG и озонный лидар на эксимерном лазере XeCl. Первый лидар имел 3 канала регистрации и предназначен для измерения коэффициентов обратного рассеяния аэрозолем на 3 длинах волн ($\lambda=1064,532$ и 355 нм). Второй лидар имел 2 канала регистрации ($\lambda=308$ и 353 нм), которые использовались для измерения вертикального распределения концентрации озона в диапазоне высот 2-45 км. по методу дифференциального поглощения. Восстановление микрофизических характеристик аэрозоля по данным тропосферного лидара трехчастотного зондирования осуществлялось по методу Клетта с априорным заданием величин лидарного отношения для каждой из частот зондирования. Вполне естественно, что любое введение в расчетную схему априорных величин приводит к значительным погрешностям измерений. Решение проблемы сокращения количества априорных величин в лидарном зондировании решается несколькими способами. Один из них состоит в использовании солнечных фотометров для оценки спектральной плотности аэрозольной толщи интернально внутри столба атмосферы. Методики, основанные на совместном использовании результатов многочастотного лидарного зондирования и солнечной фотометрии, лишь частично решают эту проблему, позволяя получить дополнительную информацию о величине осредненного по всему атмосферному столбу лидарного отношения, оставляя неопределенность в его вертикальной изменчивости. Второй способ сокращения числа априорно-задаваемых параметров состоит в ведении в схему зондирования двух дополнительных информационных каналов неупругого рассеяния – каналов комбинационного рассеяния на молекулах азота. Этот способ наиболее перспективен с точки зрения полноты получения информации

о микрофизических характеристиках аэрозоля, их пространственного (вертикального) распределения и погрешности измерений. Для реализации этого способа на втором этапе была проведена работа по изменению оптических схем двух лидаров путем введения дополнительных каналов комбинационного рассеяния. В тропосферный трехчастотный лидар был введен канал комбинационного рассеяния озота от зондирующей длины волны 532 нм., а в озонный лидар был введен канал комбинационного рассеяния на молекулах азота от зондирующего излучения 308 нм. Введение каналов комбинационного рассеяния в два лидара позволило получить лидарный комплекс, позволяющий решать задачи измерения вертикального распределения как микрофизических характеристик аэрозоля (распределение по размерам, комплексный показатель преломления, коэффициент Ангстрема), так и концентрации озона. На рисунке 6.2.1 приведены фотографии лидаров, а в таблице 6.2.1 технические характеристики эксимерного лидара.

Введение новых регистрационных каналов потребовало разработки нового программного обеспечения, рассчитанного на использование новых методик расчета микрофизических характеристик, в число которых входят методика с использованием данных солнечной фотометрии и методика с использованием спектральных каналов комбинационного рассеяния. В результате разработки ПО была создана унифицированная программа расчета микрофизических характеристик аэрозоля и концентрации озона по разным методикам.



Рисунок 6.2.1 лидарный комплекс УСУ ЛаМИ: а – аэрозольный лидар; б – озонный лидар.

Таблица 6.2.1 Технические характеристики озонного лидара

Излучатель	<p>XeCl эксимерный лазер</p> <p>Энергия в импульсе – 200 мДж,</p> <p>Длительность импульса – 20 нс</p> <p>Частота посылок – 100Гц</p>
ВКР-преобразователь	H ₂
Длина волны зондирующего излучения	<p>$\lambda_1=308$ nm</p> <p>$\lambda_2=353$ nm</p>
Телескоп	Кассегрен, апертура - 600 мм
Каналы регистрации	<p>$\lambda_{1,2}=308$ nm (озон)</p> <p>$\lambda_{3,4}=353$ nm (озон, аэрозоль)</p> <p>$\lambda_5=331$ nm (КР азота)</p> <p>$\lambda_6=347$ nm (КР водяного пара)</p>
Система регистрации	8- канальный счетчик фотонов

Система отсечки ближней зоны	Электромеханическая
Пространственное разрешение	200 м
Диапазон высот регистрации	1 – 40 км в каналах измерения озона 1 – 40 км в аэрозольном канале ($\lambda=353$ nm) 1- 7 км в каналах КР азота и водяного пара

Кроме работ по модернизации схемы приема сигнала обратного рассеяния в период проведения работ по контракты были выполнены работы по техническому обслуживанию лидара, которые включали в себя регламентные работы по чистке оптических элементов системы доставки излучения, замену оптических окон ВКР ячейки, закупку газовой смеси лазера.

6.3 Модернизация тропосферного аэрозольного лидара

Разработанный на данном этапе поляризационный канал мобильного аэрозольного лидара предназначен для идентификации пылевых облаков в атмосфере г. Владивостока.

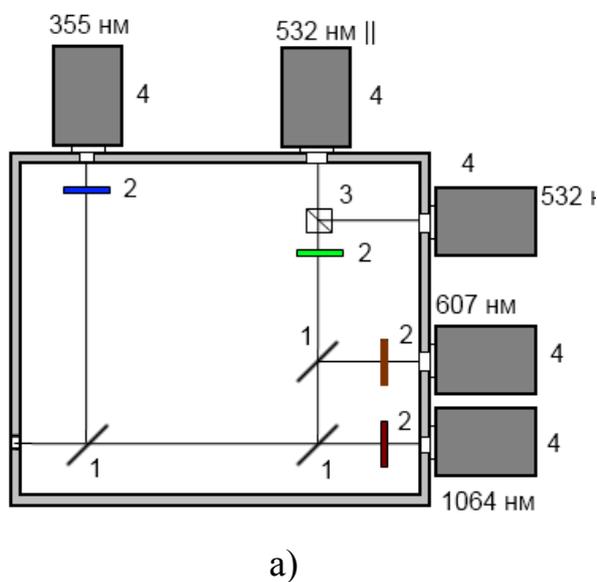
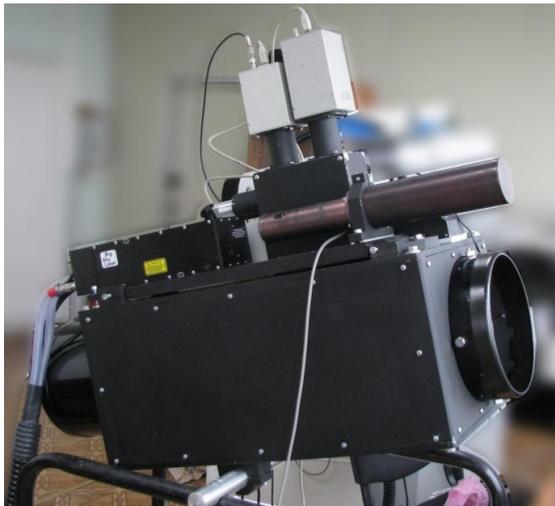


Рисунок 6.2.1 а) Внешний вид аэрозольного лидара после модернизации лидара , б) схема спектрального блока с поляризационным каналом (1 – делительная пластинка, 2 – интерференционный фильтр, 3 – поляризационный кубик, 4- модуль регистрации слабых сигналов).

Принятый телескопом лидарный сигнал попадает в спектральный блок

(рисунке 6.2.1а), где с помощью полупрозрачных зеркал от него отводится 5 лучей. 4 из них идут на каналы упругого рассеяния (355, 532 и 1064 нм), а последний поступает на канал КР азота 607 нм.

Отведенный сигнал после интерференционного фильтра с центром полосы пропускания на 532 нм попадает на поляризационный куб, где происходит разделение сигнала на две части: параллельную и перпендикулярную составляющие. В одной из них направление вектора поляризации совпадает с исходным лазерным излучением, во второй – вектор поляризации перпендикулярен вектору в исходном лазерном излучении.

Регистрация поляризованных составляющих принятого сигнала обратного рассеяния происходит на 10 МГц АЦП, которое обеспечивает вертикальное разрешение 15 м по трассе зондирования.

Для классификации аэрозольных полей по происхождению рассчитывался суммарный фактор деполяризации лазерного излучения по формуле (6.2.1)

$$\delta(z) = \frac{P_{\perp}(z)}{P_{\parallel}(z)} \quad (6.2.1)$$

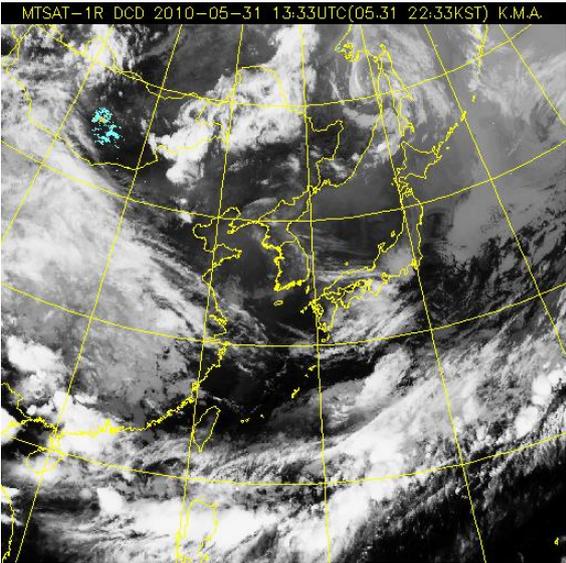
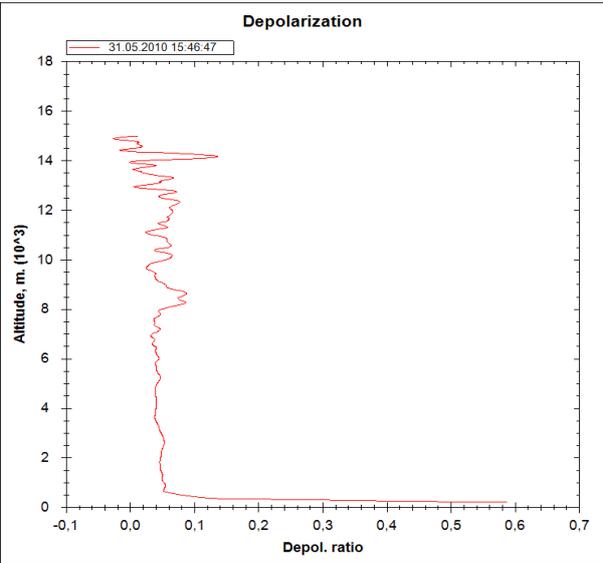
В данном случае $\delta(z_{ref}) = 0.035$, т.е. на высоте, где аэрозоль отсутствует, суммарный фактор деполяризации равен молекулярному.

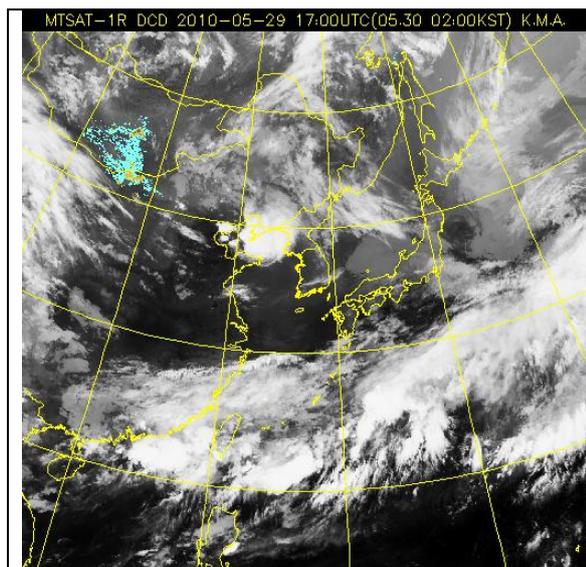
Для выделения абсолютно несферических частиц нам использовался критерий $\delta > 0.2$, предложенный авторами [Shimizu et al. (2004)], при этом, для пылевого аэрозоля $\delta = 0.2 \div 0.3$ [К. Eguchi 2009]. Высокие значения фактора деполяризации также могут соответствовать перистой облачности. В наших исследованиях перистой облачности соответствует пик аэрозоль-молекулярного отношения рассеяния, превышающий 2 и соответствующий высоте $h > 6$ км.

Испытание поляризационного канала начались в конце мая 2010 г. Эксперимент проводился разное время суток в отсутствии осадков и облачности

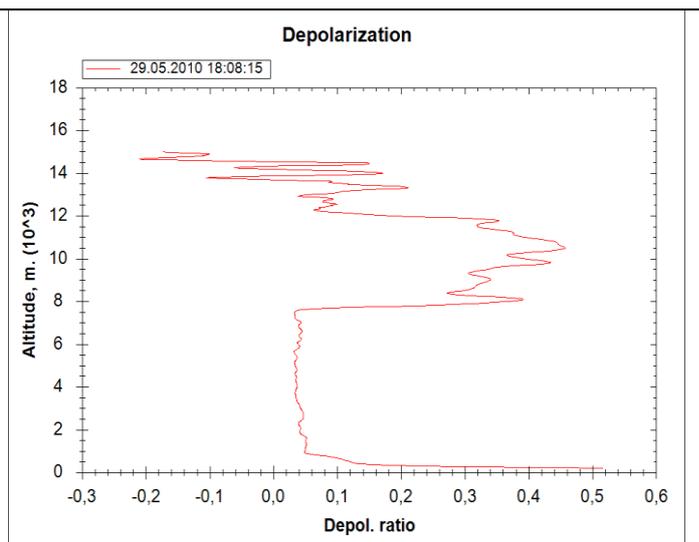
нижнего яруса. В базу данных сохранялся профиль сигнала обратного рассеяния, усредненный по 5000 выстрелов. Идентификация пылевых выносов велась на основании профилей фактора деполяризации. Сверка производилась по данным индекса пыли спутника MTSAT.

Ниже на графиках (рисунок 6.2.2) представлены профили отношения рассеяния и фактора деполяризации излучения для различных атмосферных условий. Первый график (рисунок 6.2.2 а,б) соответствует обычной ситуации в отсутствие пылевого аэрозоля и в отсутствии явно выраженной облачности. Профиль фактора деполяризации лазерного излучения выглядит вертикальной прямой, со средним значением $0.038 \div 0.040$. На высоте 8 км наблюдается небольшой пик, соответствующий слабому аэрозольному образованию не пылевой природы.

<p>а</p> 	<p>б</p> 
<p>Спутниковый снимок за 2010-05-31</p>	<p>Вертикальный профиль суммарного фактора деполяризации 2010-05-31</p>
<p>в</p>	<p>г</p>

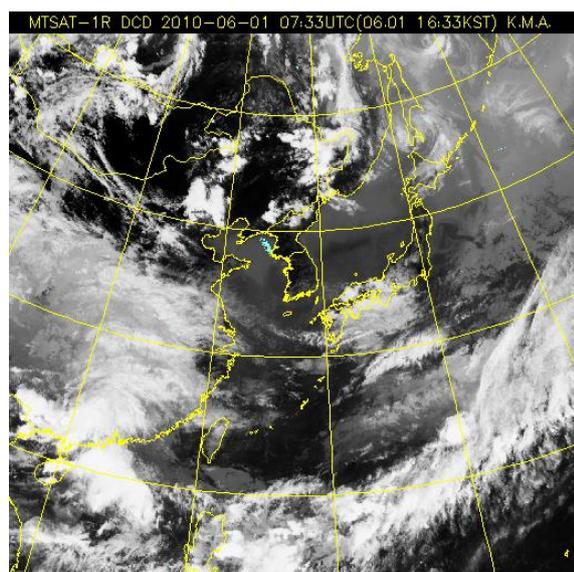


Спутниковый снимок за 2010-05-29



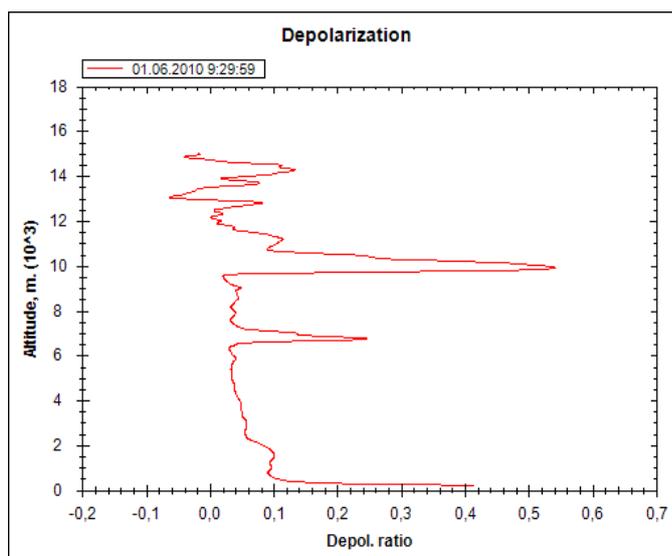
Вертикальный профиль суммарного фактора деполяризации 2010-06-01

Д



Спутниковый снимок за 2010-06-01

е



Вертикальный профиль суммарного фактора деполяризации 2010-06-01

Ж

з

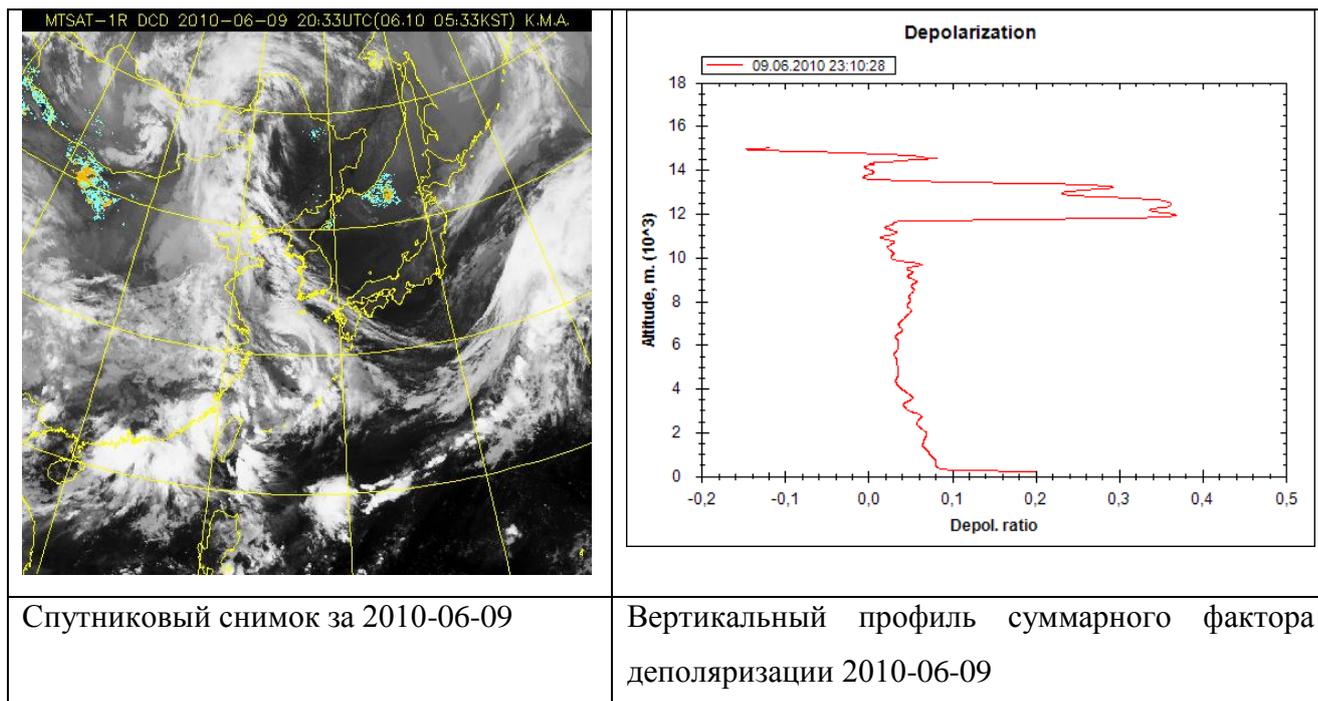


Рисунок 6.2.2 Высотное распределение фактора деполяризации лазерного излучения на длине волны 532 нм.

Следующие два графика представленные на рисунках 6.2.2 в,г соответствуют периоду, когда в атмосфере присутствовал слой перистой облачности. На спутниковых снимках ее можно наблюдать. Значения коэффициента деполяризации в этом случае достигают значений 0.4 и более. На следующих рисунках 6.2.2 д,е приведена еще одна ситуация с двумя пиками (пик на 10 км и на 7 км). Согласно спутниковым снимкам за этот период, эти пики могут соответствовать как перистым облакам, так и аэрозольным слоям. Последняя серия графиков (рисунок 6.2.2 ж,з) соответствует пылевой буре. На высоте 12 км отчетливо прослеживается светорассеивающий слой, по всей видимости, обусловленный присутствием аэрозоля на этой высоте. Деполяризация лазерного излучения в этом случае составляет 40%. Спутниковый снимок не содержит признаков облачности.

6.4 Закупка современного оборудования

Солнечный фотометр

В отчетный период был закуплен солнечный фотометр для измерения интегральных характеристик аэрозоля и концентраций малых газовых составляющих атмосферы по спектральным характеристикам прямого солнечного излучения.

SP-9 представляет из себя многоволновой солнечный фотометр для измерений спектральной прозрачности в “окнах прозрачности” атмосферы и полосах поглощения H_2O , O_3 . Процесс измерений автоматизирован – выполняется по программе микроконтроллера. Обработка полученных данных (расчет физических характеристик) выполняются по специальной компьютерной программе.

Состав солнечного фотометра (рисунок 5.4.1, 5.4.2).

В комплект поставки фотометра SP-9 входят следующие основные части:

- собственно фотометр;
- система наведения-слежения (AST) в составе поворотного устройства УН-79, блока координатных датчиков, блока управления с разъемными соединениями и треножника;
- датчик Солнца (DS), закрепленный штангой к треножнику;
- пульт ручного управления сканированием фотометра (используется при настройках);
- источник питания;
- пакет программного обеспечения для обработки данных.

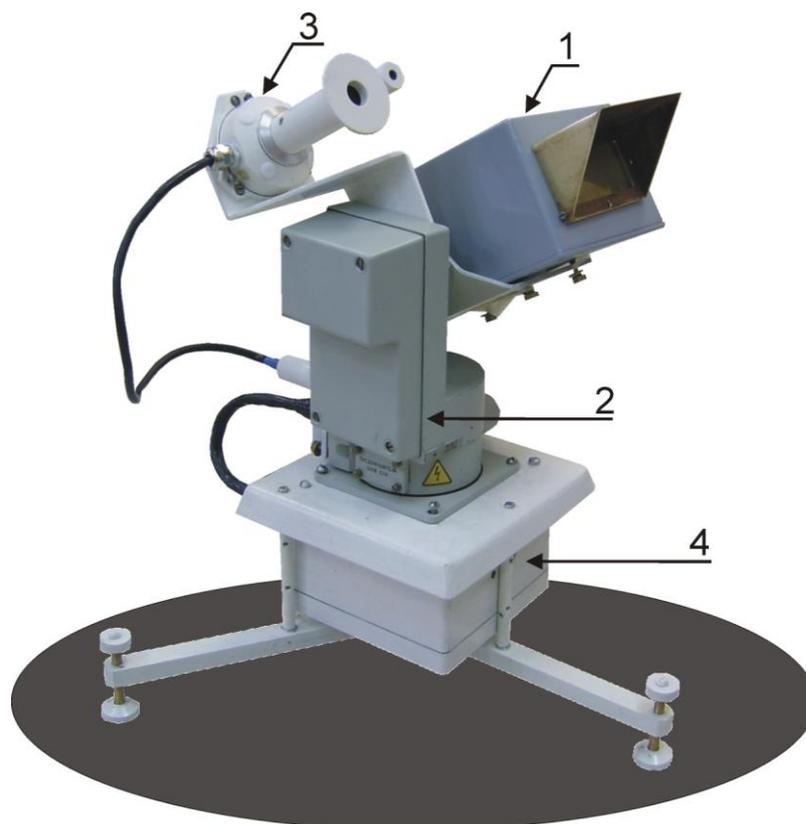


Рисунок 6.4.1. Внешний вид фотометра SP-9 с системой наведения-слежения за Солнцем (1 – фотометр, 2 – устройство наведения УН-79, 3 – блока координатных фотодатчиков и треножника, 4 – блок управления на треножнике).



(a)



(б)

Рисунок 6.4.2. Внешний вид датчика Солнца (а), пульта управления и блока питания (б).

К фотометру SP-9 предусмотрено подключение внешних устройств: 1) GPS навигатора (измерителя точных координат и времени); 2) компьютера –

для съема полученной информации, накопленной во flash-памяти микроконтроллера.

Назначение и общая характеристика.

Фотометр SP-9 предназначен для измерений спектральной прозрачности атмосферы с целью последующего определения аэрозольных оптических толщ (АОТ) и влагосодержания атмосферы. Процесс измерений полностью автоматизирован и выполняется без участия оператора. Результаты измерений спектральной солнечной радиации (вместе с координатами и временем замеров) накапливаются в цифровом виде во flash-памяти прибора и затем могут быть переданы на персональный компьютер для обработки и анализа.

Определение искомых характеристик атмосферы основывается на методе "прозрачности" – фотометрировании прямого солнечного излучения, прошедшего через атмосферу, и дифференциальной методике. При нормальных условиях эксплуатации и калибровочных данных, погрешность определения АОТ составляет 0.01-0.02, влагосодержания атмосферы ~ 0.1 г/см². Описание методик калибровки и расчета искомых характеристик приведено в работах:

1. Кабанов Д.М., Сакерин С.М. О методике определения аэрозольной оптической толщи атмосферы в ближнем ИК диапазоне спектра. **Оптика атмосферы и океана**. 1997, 8, 866-874.
2. Кабанов Д.М., Сакерин С.М. Результаты исследований общего влагосодержания атмосферы методом оптической гигрометрии. Ч.1. **Оптика атмосферы и океана**. 1995. 6, 852-860.
3. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Ростов А.П. и др. Система сетевого мониторинга радиационно-активных компонентов атмосферы. **Оптика атмосферы и океана**. 2004, 17, №4, 354-360.
4. Кабанов Д.М., Веретенников В.В., Воронина Ю.В., Сакерин С.М., Турчинович Ю.С. Информационная система для сетевых солнечных фотометров. **Оптика атмосферы и океана**. 2009, Т. 22, №1. с. 61-67.

Для обеспечения автоматизированного режима работы прибора, предусмотрено выполнение следующих функций:

- а) определение с помощью датчика DS ситуаций "безоблачного Солнца";
- б) сначала грубое наведение фотометра, затем точное слежение за Солнцем;
- в) измерение и накопление сигналов спектральной прозрачности атмосферы;

д) при закрытии Солнца облаками - перевод фотометра в положение “парковка”;

е) самодиагностика - контроль температуры фотометра, напряжений питания и др.

Для удовлетворения требованию круглогодичной эксплуатации прибора на открытом воздухе (сохранения постоянства чувствительности), внутри фотометра установлен термостат. Термостатирование предохраняет также входное окно от запотевания. При “парковке” фотометр автоматически переводится в положение “вниз”, что позволяет защитить входные окна от осадков и осаждения пыли.

Устройство и принцип действия фотометра.

Солнечный фотометр SP-9 состоит из двух частей, которые при измерениях располагаются отдельно. Сам фотометр (на поворотном устройстве, вместе с блок управления и датчиком Солнца) устанавливается в месте с хорошим обзором южной части небесной полусферы. Блок питания (преобразователь 220/24 в) устанавливается в операторской комнате на удалении 10-15 м от фотометра. Блок-схема фотометра SP-9 показана на рис. 6.4.3, а основные технические характеристики приведены в таблице 6.4.1.

Таблица 6.4.1 – Характеристики солнечного фотометра SP-9

Характеристики	УФ каналы	КВ каналы	ИК каналы
Угол поля зрения, градусов	1.7	1.8-2	2.4
Количество длин волн	5	7(8)	6
Максимумы полос пропускания светофильтров, мкм	0,31; 0,32	0,34; 0,37; 0,41; 0,44; 0,5; 0,55; 0,67; 0,78; 0,87; 0,94; 1,04	1,25; 1,56; 2,14; резерв.

Полуширина пропускания фильтров, нм	5-8	5-10	15-30
Погрешность слежения за Солнцем, град.	0,3		
Время единичного цикла измерений, сек	1		
Интервал между циклами, мин	1		
Объем памяти (накопления данных), дней	15		
Погрешность измерений, %	0.5		
Температура термостата, °C	35± 0,3		
Электропитание (50 Гц), В × А	220 × 1		

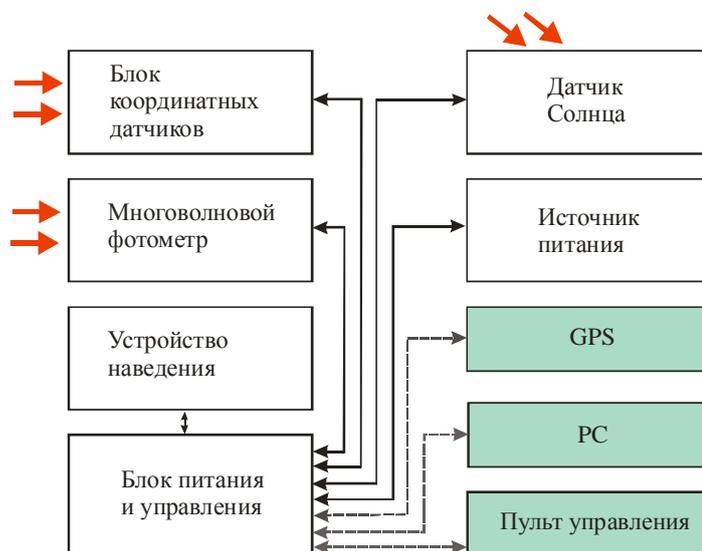


Рисунок 6.4.3. Блок-схема солнечного фотометра SP-9 (пунктиром показаны временные соединения, не обязательные для автоматизированной работы прибора).

Оптическая схема фотометра многоканальная, безлинзовая. Фотоприемные устройства включают усилители постоянного тока и три типа фотодиодов, работающих в коротковолновой области спектра (0.37-1.05 мкм), УФ и ИК диапазонах: ФДУК-13у (Si), ФД УФ-1 (GaP) и G8373-01 (InGaAs). Для спектральной селекции используются интерференционные светофильтры. Управление фотометром и регистрация сигналов осуществляются цифровым

блоком, в состав которого входят: RISC-микроконтроллер ATmega-128, flash-память объемом 512 Кбайт, 14-разрядный 32-канальный АЦП и часы реального времени с автономным источником питания. Электронные платы цифрового блока, усилителей фотодиодов, термостата и электропитания установлены в теплоизолированном корпусе фотометра.

Автоматическая система наведения-слежения за Солнцем (AST, см. рис. 4) выполнена на основе устройства наведения для TV камер наружного наблюдения УН-79 и фотоэлектрической схемы грубого наведения и точного слежения. Конструктивно AST реализована в виде трех отдельных узлов: 1) блок координатных датчиков, установленный на одной оси с фотометром; 2) блок управления в стандартном герметичном корпусе, расположенный под устройством УН-79; 3) пульт ручного управления сканированием. Блок координатных датчиков включает в себя: четыре развернутых друг относительно друга фотодиода с рассеивающими насадками (общее поле обзора $\sim 90^\circ \times 240^\circ$) и четырехсекторный фотодиод ФД-142 в фокусе линзы (поле зрения $\sim 5^\circ$), оптическая ось которой совмещена с оптической осью фотометра.

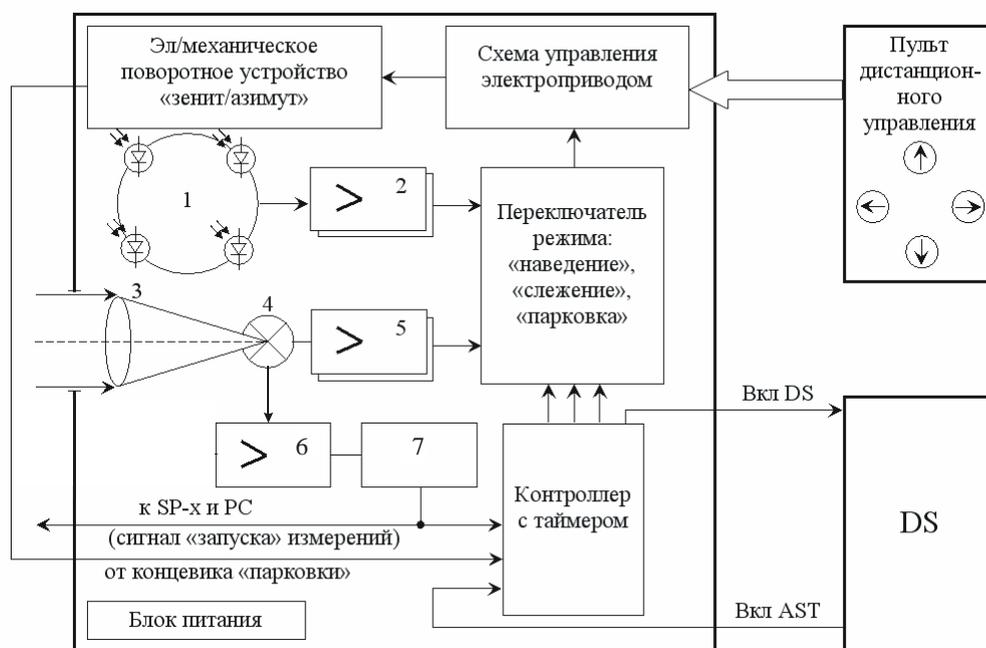


Рисунок 6.4.4. Блок-схема устройства наведения-слежения AST: 1 – четыре фотодиода с рассеивающими насадками схемы грубого наведения; 2, 5 –

усилители разностных сигналов; 3 – линза системы точного наведения/слежения; 4 – четырехсекторный фотодиод; 6 – усилитель суммарного сигнала фотодиода; 7 – пороговый компаратор.

Блок управления с контроллером обеспечивает управление электродвигателями (зенит/азимут) поворотного устройства УН-79 по сигналам координатных датчиков:

- если оптическая ось AST (и фотометра) не ориентирована на Солнце, управление осуществляется от четырех фотодиодов схемы грубого наведения;
- при попадании изображения Солнца в поле зрения фотодиода ФД-142, управление переключается на схему точного слежения.

Система наведения/слежения действует следующим образом. В ждущем режиме система находится в запаркованном состоянии – поворотная платформа устройства УН-79 развернута вниз и ориентирована на юг. (Для ориентации в южном направлении используется резистивный датчик, механически соединенный с азимутальным электромеханическим приводом). Автоматическое включение осуществляется по сигналу датчика DS, подаваемого на управляющий контроллер. В начальный момент запуска, Солнце находится вне поля зрения четырехсекторного фотодиода, поэтому на выходе компаратора сигнал отсутствует и контроллер выдает команду на включение режима “наведение” (управления электромеханическим приводом по сигналам схемы грубого наведения) и одновременно включается таймер “времени наведения”. При попадании изображения Солнца в поле зрения ФД-142, компаратором подается сигнал на контроллер, который переключает режим управления на схему точного слежения. По этой же команде включается программа измерений фотометра.

Если в течение заданного времени (~ 1 мин) Солнце не попало в поле зрения ФД-142, то контроллером подается команда на “парковку” поворотного стола. После факта “парковки” (сигнала от концевика поворотного стола) – контроллер подает команду на включение датчика DS. Таким образом, система

AST и датчик DS работают поочередно: (а) когда Солнце закрыто облаками – включен DS, а AST находится в ждущем режиме (фотометр запаркован); (б) при безоблачном Солнце работает система AST (осуществляет слежение за Солнцем) и фотометр, а датчик DS выключен.

При выполнении юстировочных и ремонтных работ используется пульт дистанционного управления, подключаемый непосредственно к блоку управления. Пульт содержит кнопки управления направлением сканирования “вверх”, “вниз”, “влево”, “вправо” и переключатель перевода управления в автоматический режим.

Датчик Солнца (рисунок 6.4.5) служит для инструментального определения ситуаций, когда Солнце не закрыто облаками, и включения системы наведения фотометра. Техническое решение датчика DS основано на использовании “эффекта тени”, которая образуются только в условиях освещения фотоприемника прямыми лучами Солнца (при Солнце закрытом облаками освещение только диффузное и тень не образуется).

Датчик DS работает следующим образом. Электродвигатель модулирующего теневого экрана (стакан с прорезями) включается при выполнении двух условий: а) только в дневное время – при срабатывании датчика дневного освещения (1–3); б) если AST находится в запаркованном состоянии (т.е. когда не осуществляется процесс слежения за Солнцем). В случае, когда Солнце открывается от облачности, в плоскости фотодиода с рассеивателем 7 образуются теневые зоны. При вращении теневого экрана 6, указанные зоны попеременно появляются и исчезают, в результате чего фотодиодом 7 генерируется переменный сигнал, пропорциональный прямому излучению (разности освещенности в зоне света и тени). Компаратор 10 настраивается на пороговый сигнал прямого излучения, соответствующий максимальному замутнению атмосферы (при котором еще целесообразно работа фотометра). В случае превышения заданного порога подается команда на включение AST. При диффузной радиации (когда Солнце закрыто

облачностью) теневые зоны не образуются, фотоприемник 7 освещается постоянным излучением небосвода, а на детектор и компаратор поступают нулевые сигналы.

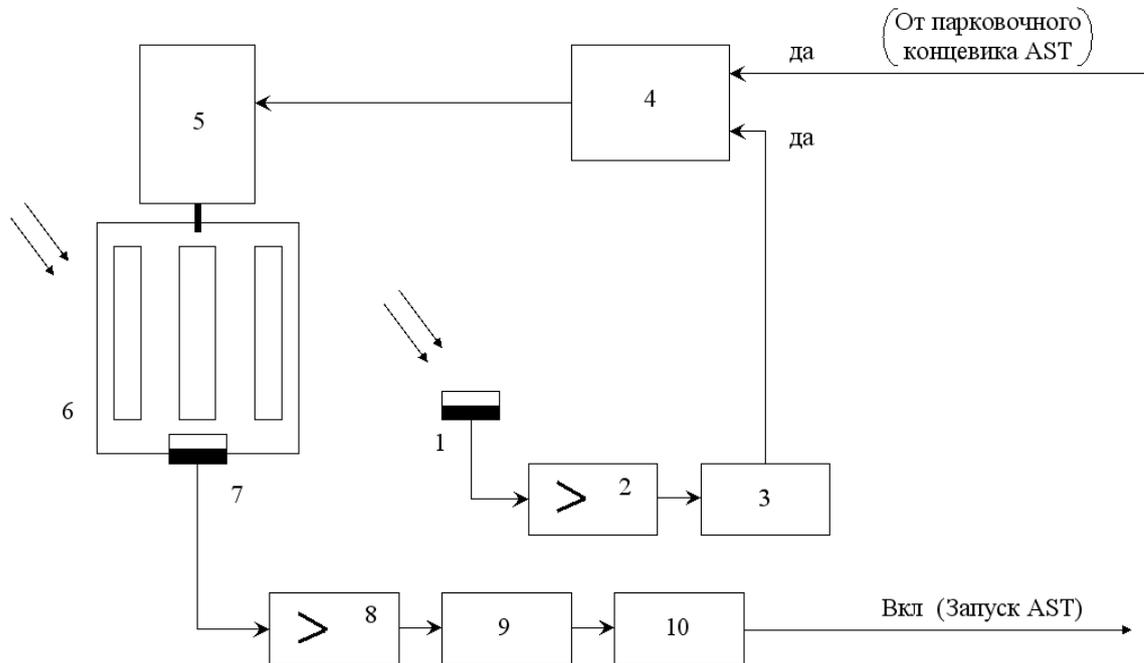


Рисунок 6.4.5. Блок-схема датчика Солнца: 1 – датчик освещенности (фотодиод с рассеивателем); 2 – усилитель постоянного тока; 3 – компаратор; 4 – логический элемент/ключ включения электродвигателя 5; 6 – модулирующий теневой экран; 7 – датчик прямого излучения; 8 – усилитель переменного тока с детектором 9; 10 – компаратор, формирующий сигнал включения AST.

Таким образом, алгоритм автоматизированной работы SP-9 состоит в следующем:

- ночью работает только термостат, а при восходе Солнца включается датчик DS;
- в ждущем режиме прибор находится в запаркованном состоянии, а при “открытии Солнца от облаков” подается команда включения режима грубого наведения AST;
- при попадании Солнца в поле зрения фотометра, включается схема точного слежения за Солнцем, отключается датчик DS и запускается программа измерений;

- при “перекрытии Солнца облачностью” – подается сигнал на прекращение измерений, парковку фотометра и включение датчика DS.

Процедура регистрации сигналов включает: 1) опрос (50 мсек) и усреднение сигналов всех каналов с записью в ОЗУ; 2) проведение 20 таких замеров и выбор максимальных значений по каждому каналу; 3) опрос GPS-приемника (если он подключен); 4) запись всей полученной информации во flash-память. Через ~1 мин указанный измерительный цикл повторяется.

Аппаратура для модернизации станции МЕТЕОРИТ.

Основная цель

Организация полностью автоматического приёма данных с имеющейся станции, созданной на базе метеорологического локатора военного образца (ток 400Гц).

В настоящий момент процесс подготовки станции к приёму требует участия оператора и достаточно трудоёмок. Это связано с необходимостью ручного включения нескольких узлов в определённой последовательности по истечении определённых промежутков времени. Устройство управления станции создано на старой технологической базе, элементы которой уже давно не выпускаются.

Используемые датчики положения антенны не обеспечивают точности, необходимой для качественного сопровождения современных полярно-орбитальных спутников. Кроме того, существующие датчики находятся в эксплуатации более 15 лет и могут выдавать некорректную информацию в некоторых разрядах двоичного кода положения антенны. В то же время, для их питания требуется несколько шин (напряжениями +5v,+12v,-12v,-24v), что требует отдельного источника питания.

Задачи по модернизации:

1. Замена двигателей. Существующие двигатели питаются переменным током с частотой 400 Гц, что требует использования отдельного генератора,

который оператор включает вручную. Необходимо установить двигатели, способные работать при стандартной частоте сети переменного тока в 50 Гц.

2. Замена датчиков положения антенны на современные, обеспечивающие большую точность и лучшую линейность выдаваемого кода.

3. Модернизация программного обеспечения генерации целеуказаний положения антенны более высокой точности для наиболее полного использования возможностей датчиков.

4. Создание программно-аппаратного комплекса сопровождения, обеспечивающего следующие функции (Рисунок 6.4.2.):

- a. Чтения цифровой информации с датчиков положения антенны
- b. Получение информации о целеуказаниях с компьютера, на котором они генерируются
- c. Получения результата суммирования (кода ошибки) целеуказаний и положения антенны в заранее рассчитанный момент времени
- d. Выдача кода суммирования в аналоговой форме на узел управления антенной

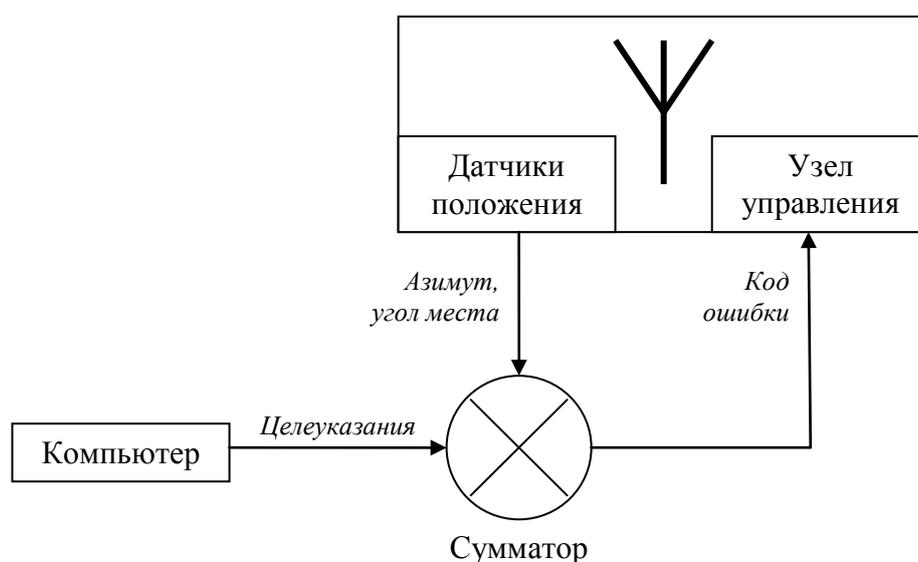


Рисунок 6.4.2. Функциональная схема программно-аппаратного комплекса сопровождения

Решение задачи

Общее описание комплекса

Для решения задачи были приобретены:

- Оптические датчики (3 штуки) высокой точности фирмы HEIDENHAIN (модель ROQ 437)
- Частотные преобразователи (три штуки) VFX 2.0 NGD 40-004-54-CE
- Электродвигатели АД71А2У3
- Основа системы сопровождения на базе микроконтроллера, подключаемая к компьютеру посредством порта USB
- Узел ЦАП, обеспечивающий преобразование цифрового кода ошибки в аналоговый по каждой из координат (угол места и азимут)
- Программное обеспечение, состоящее из двух модулей (программа расчета целеуказаний и программа сопровождения) и драйвера USB для связи с микроконтроллером

Микроконтроллер AT32UC3A-0512 фирмы Atmel, являющийся основой комплекса, обладает следующими характеристиками (перечислены наиболее важные):

- Производительность до 91 DMIPS при частоте 66 MHz
- 15-ти канальный DMA-контроллер для интегрированной периферии
- Встроенная флэш-память объемом 512 Kb, доступ за один такт при частоте 33 MHz
- Оперативная память объемом 64 Kb
- Контроллер USB 2.0 Full Speed
- Четыре модуля USART, поддерживающие различные типы синхронных и асинхронных последовательных интерфейсов
- Низкий ток потребления, напряжение питания 3.3 V (и 1.8 V для ядра, через встроенный преобразователь)

- Входы общего назначения, допускающие подачу +5 V в качестве напряжения высокого уровня.

Данный микроконтроллер даёт возможность реализации всех требуемых функций при обеспечении необходимого уровня быстродействия. Предложенный вариант реализации комплекса приведён на рисунке 6.4.3.

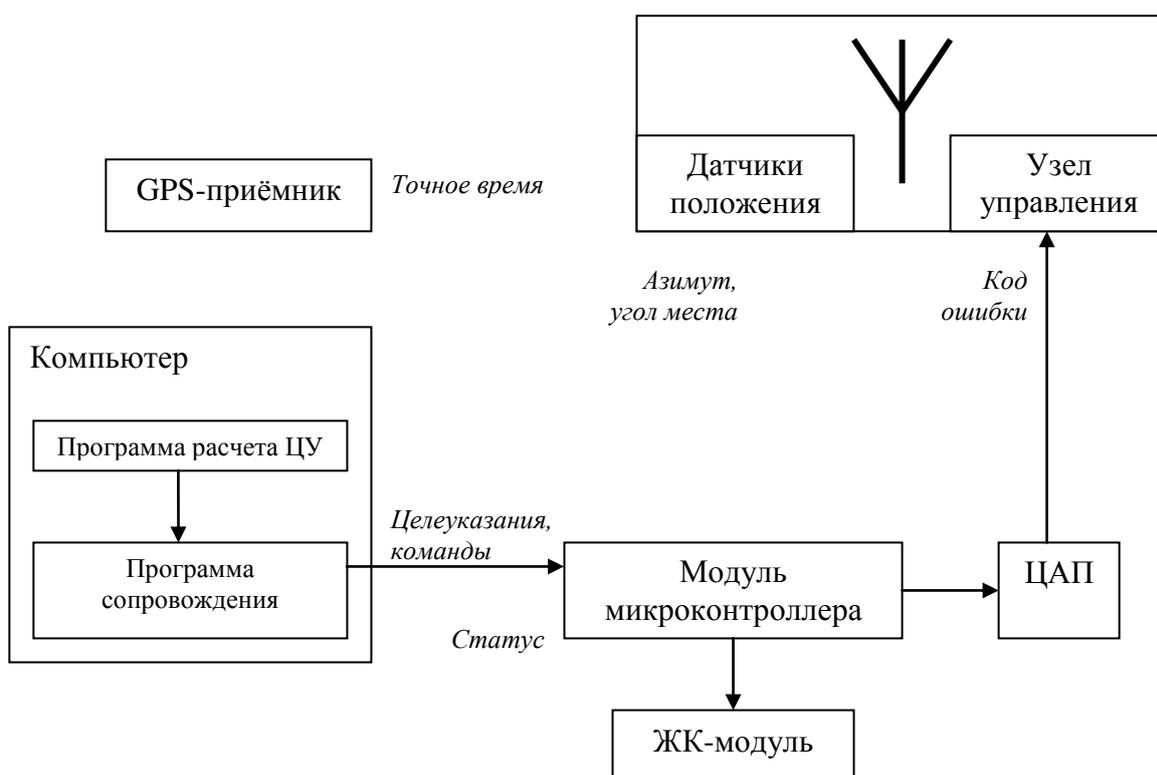


Рисунок 6.4.3. Реализация комплекса сопровождения

Общий алгоритм работы комплекса заключается в следующем:

- Перед началом сеанса происходит расчет целеуказаний
- Формируется пакет и отсылается пакет целеуказаний в микроконтроллер (весь массив целеуказаний может не поместиться из-за сравнительно малого объёма ОЗУ микроконтроллера).

- Модуль микроконтроллера имеет точные часы реального времени, синхронизируемые по GPS (при этом компьютер также имеет возможность синхронизировать собственные часы). При наступлении нужного момента времени начинается процесс сопровождения:

- о При наступлении момента времени для каждой отметки в массиве целеуказаний микроконтроллер получает текущие координаты антенны с датчиков

- о Суммирует координаты с заданными целеуказаниями

- о Выдаёт результат суммирования на ЦАП, выходом которого является уровень напряжения, заставляющий антенну двигаться в требуемом направлении

- При мере опустошения буфера в микроконтроллере наполовину, последний сообщает компьютеру о необходимости догрузки целеуказаний. В ответ компьютер формирует и отправляет новый пакет целеуказаний.

- В процессе сопровождения, и в режиме ожидания, пользователь имеет возможность узнать о состоянии комплекса и подавать управляющие команды, используя программу сопровождения.

Модуль микроконтроллера

Модуль состоит из двух основных узлов: плата микроконтроллера и несущая плата. Плата микроконтроллера устанавливается на несущую плату подобно установке микросхем с корпусом DIP в панельку. Для этого на плате микроконтроллера размещено два ряда штырьковых разъёмы с шагом 2.54 мм, а на несущей плате – ответные разъёмы.

Плата микроконтроллера размера 75 x 50 мм выполнена на текстолите с односторонней металлизацией и содержит наиболее важные компоненты:

- Микроконтроллер AT32UC3A-0512 в корпусе LQFP 144
- Кварцевый резонатор для ядра и основных модулей микроконтроллера
- Кварцевый резонатор для часов реального времени

- Кнопки для перезагрузки и перехода в режим обновления встроенного программного обеспечения (прошивки)
- Разъём USB B female для подключения к компьютеру (обмен данными в работающем комплексе либо прошивка)
- Индикатор подключения USB-разъёма
- Вспомогательные элементы (фильтрующие конденсаторы, pull-up резисторы)

Основная часть элементов выполнена поверхностным монтажом. Плата выполнена по популярной технологии макетирования, где тонер лазерного принтера используется как средство формирования рисунка проводников при травлении.

Несущая плата содержит элементы, необходимые для подключения к микроконтроллеру внешних устройств. Плата выполнена на основе макетной платы модуля SAMAC и содержит:

- Узел питания, предоставляющий напряжения 5 V (для питания внешней периферии) и 3.3 V (плата микроконтроллера).
- Разъём для подключения внешнего источника питания
- Джемпер для переключения источника питания (USB / SAMAC)
- Разъёмы-выходы 5 V для питания внешней периферии
- Разъём для получения информации с датчиков
- Разъём для выдачи кода ошибки в цифровой форме
- Кнопки для целей отладки
- Согласующие элементы

Проделанная работа

В рамках проекта за отчетный период были выполнены следующие работы:

- Подключение ЖК-модуля для вывода информационных и диагностических сообщений

- Доработка и тестирование комплекса в режиме сопровождения по одной координате (азимут), с применением старого датчика положения
- Разработка способа сопряжения имеющегося GPS-приёмника с микроконтроллером
- Реализация часов реального времени, синхронизируемых по GPS.

ЖК-модуль

ЖК-модуль необходим для выдачи диагностической информации при отладке и макетировании, а также, возможно и при работе собранного комплекса. Узел представляет собой модуль MT-16S2D-2YLG производства фирмы МЭЛТ, доступный в продаже. Состоит из алфавитно-цифрового экрана 16 символов x 2 строки и управляющего контроллера, совместимого с контроллером HD44780 фирмы HITACHI (являющегося промышленным стандартом). ЖК модуль и схема управления подсветкой подключается к несущей плате модуля микроконтроллера через 10-ти жильный кабель-шлейф. При этом используется односторонний 4-х битный режим передачи данных.

Взаимодействие с модулем осуществляется через написанную в рамках проекта библиотеку, использующую стандартные команды контроллера HD44780.

Тестирование режима сопровождения

Тестирование режима сопровождения велось на макете станции, с применением датчика положения для единственной координаты (азимута). Целеуказания задавались вручную, посредством кнопок, размещённых на несущей плате. Информация о текущем положении антенны (в двоичном коде) и целеуказаниях отображалась на ЖК-экране. Проведённые эксперименты дали расхождение в единицы двоичного кода по сравнению с задаваемыми целеуказаниями, что является хорошими результатами в условиях макета.

GPS-приёмник

На основе микроконтроллера были реализованы часы реального времени, синхронизируемые по GPS. Служит для получения точного времени, критически необходимого для качественного сопровождения спутника. За основу взят GPS-модуль Trimble ACE II GPS, демонтированный с платы SATPAK-PCI. Модуль закреплён на плате, где размещён элемент резервного питания DL2032, обеспечивающий сохранение настроек приёмника и альманаха при отключении основного питания. Модуль соединяется с несущей платой модуля микроконтроллера через 10-жильный кабель-шлейф. Подключены все имеющиеся в GPS-приёмнике сигналы, из них задействованы шина основного питания и один из последовательных портов (ввод и вывод). Этот порт подключен к одному из USART-портов микроконтроллера, при этом используется скорость обмена 9600 бит/с. Обмен информацией с GPS-приёмником осуществляется с помощью протоколов TSIP (Trimble Standard Interface Protocol) и TAIP (Trimble ASCII Interface Protocol), реализованных в приёмнике Trimble.

Часы реального времени

Часы реального времени (RTC) – программно-аппаратный модуль, использующий описанный ранее GPS-приёмник. Задача RTC – обеспечение высокоточной временной привязки целеуказаний положения антенны. Для нужд RTC выделен отдельный кварцевый резонатор, предусмотренный конструкцией микроконтроллера AT32UC3A-0512. В макетном режиме синхронизация с GPS-приёмником попытка синхронизации происходит раз в 10 секунд. После подачи питания микроконтроллер:

- Производит попытку переключения GPS-приёмника из режима передачи/приёма данных TSIP в режим TAIP. Приёмник осуществляет передачу и приём данных в режиме TSIP сразу после подачи питания в случае, если резервное питания не было подключено и настройки обнулились. Если приёмник уже работал в режиме TAIP, команды переключения будут

игнорированы. Режим TAIP намного более удобен для отладки (и корректно функционирует в предоставленном экземпляре GPS-приёмника).

- Производит отключение стандартного пакета PV (позиция и скорость) и включение выдачи пакетов статуса (ST) и времени (TM) с нужной периодичностью (в настоящем макете этот интервал составляет 10 секунд).

Далее, каждый заданный интервал времени (10 секунд) происходит чтения информации с GPS-приёмника через порт USART. По пакету статуса проверяется корректность информации о времени; в случае положительного результата производится синхронизация RTC микроконтроллера. Чтение информации с порта USART производится с применением DMA-контроллера, что позволяет снизить нагрузку на процессор. Следует отметить, что в процессе синхронизации не участвует компьютер. Таким образом, время задержки на передачу данных минимальны, а наиболее точное время доступно именно там, где необходимо – в том же микроконтроллере, где производится суммирование и выдача кода ошибки. В макетном варианте выдача времени производится на экран ЖК-модуля. В будущем предполагается передача информации о времени на компьютер.

Внешний дисковый массив

Спутниковый центр ДВО РАН принимает ежегодно несколько Тбайт сырой информации с метеорологических спутников Земли. При обработке спутниковой информации объем выходных продуктов может превышать исходный объем данных во много раз (в 30 раз при обработке данных радиометра MODIS программным комплексом SeaDAS и выдаче всех продуктов, пользующихся спросом). Для оперативного обслуживания пользователя необходим надежный дисковый массив, обеспечивающий потребности в хранении данных и надежность доступа к выходным продуктам центра через FTP. Поэтому было принято решение о покупке RAID-массива и модернизации имеющегося массива за счет перехода на винчестеры емкостью 1Тбайт.

Для увеличения ёмкости архива был закуплен внешний дисковый RAID-массив AXUS Yotta YB-24S3ES3 на 24 x 1Тб. Были закуплены 36 винчестеров по 1 Тб для увеличения объёма дисковой памяти уже имеющихся двух внешних массивов AXUS Yotta YB-16SAEU4 до 16 x 1Тб у каждого, а также по 2 запасных для каждого массива. Итого, суммарная ёмкость массивов, с учётом использующегося уровня RAID на массивах, увеличится до 48 Тб.

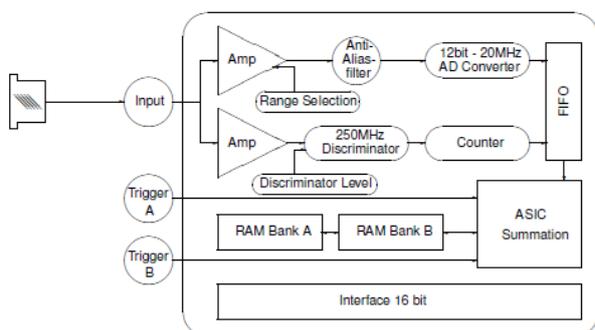
Закупленный RAID-массив настроен и интегрирован в информационную систему Центра. В ноябре месяце предполагается перенос информации на новый RAID-массив со старых и модернизация старых массивов.

Модуль обработки сигнала лидарного зондирования.

(Licel Lidar transient recorder)

Модуль обработки лидарного сигнала фирмы Licel специально разработан для лидарных систем. В нем использована новая концепция увеличения динамического диапазона обрабатываемого быстроизменяющегося сигнала путем обработки сигнала в зависимости от его величины. Объединение аналогового режима и режима счета фотонов в едином модуле позволяет расширить динамический диапазон обрабатываемого сигнала до 5 порядков величины. Структурная схема и фотография приведены на рисунке 6.4.4.

а



б

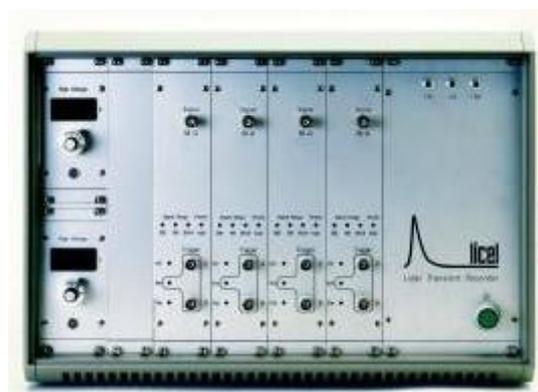


Рисунок 6.4.4 Модуль обработки сигнала лидарного зондирования. а-блок-схема модуля, б – фотография модуля.

VII ПРОВЕДЕНИЕ РАБОТ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЕДИНСТВА И ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Одна из основных задач проекта состоит в разработке методов и аппаратных средств мониторинга атмосферы, гидросферы и состояния морских экосистем на основе современных дистанционных оптических технологий оперативного контроля. К таким методам относится спутниковый мониторинг, лидарное зондирование окружающей среды и солнечная фотометрия атмосферного аэрозоля и малых газовых составляющих атмосферы, разрабатываемые в рамках данного проекта. Восстановление характеристик среды при использовании каждого по отдельности из вышеперечисленных методов связано с решением обратных задач, корректное решение которых не возможно без привлечения дополнительной информации о параметрах среды, либо использования модельных представлений о средних значениях параметров и их взаимосвязи. Объединение этих методов при решении конкретной задачи достаточно часто позволяет значительно понизить погрешности измерений. Решение задач взаимной верификации различных дистанционных методов и повышения достоверности измерений путем объединения различных методов – основная задача данного проекта.

Так, объединение результатов солнечной фотометрии и лидарного зондирования атмосферы позволяют избавиться от неопределенности выбора значения лидарного отношения в алгоритме расчета коэффициента обратного рассеяния аэрозолем. По этой причине в рамках данного проекта проведена закупка автоматизированного солнечного фотометра и выполнены работы по отработке методики объединения лидарной и солнце-фотометрической технологий при исследовании особенностей аэрозольной загрузки атмосферы Приморского края и Японского моря в период пылевых бурь в северных районах Китая и Монголии, описанные в 4 главе данного отчета.

Кроме того, использование только спутниковых технологий оценки

концентрации хлорофилла «а» в морской воде приводит к серьезным погрешностям измерений в шельфовых и прибрежных водах. В то время, как в глобальных масштабах Мирового океана спутниковые технологии работают удовлетворительно.

Основным достоинством спутниковых технологий является то, что они позволяют за короткое время получить информацию о пространственном распределении искомым параметров на большой площади. Проведение подспутниковых измерений другими дистанционными и контактными методами позволяет в ряде случаев значительно понизить погрешности спутниковых измерений, несмотря на то, что подспутниковые измерения проводятся на значительно меньших по масштабам участках, или даже в определенных точках. При этом результаты подспутниковых измерений характеристик исследуемой среды используются для настройки спутниковых алгоритмов с учетом региональных особенностей. Вопросам верификации спутниковых измерений посвящен раздел 2.9 данного отчета.

При разработке региональных биооптических алгоритмов необходимо иметь в виду, что спутник регистрирует восходящее излучение моря, сформированное в верхнем примерно десятиметровом слое морской воды. Для проведения корректного сравнительного анализа для биооптических параметров, измеряемых с судна, необходимо рассчитать оптически взвешенные значения по следующей процедуре:

$$C_{chlA}^w = \frac{\sum_{z=0}^{z_{max} > z_{90}} (C_{chlA}(z) \times w(z))}{\sum_{z=0}^{z_{max} > z_{90}} w(z)} \quad (7.1)$$

$$w(z) = e^{-K_{490} \times 2 \times z} \quad (7.2)$$

Данный подход подобен уравнению, предложенному в работе [Gordon and Clark (1980)] за исключением вида представления. Здесь C_{chlA}^w – оптически взвешенная концентрация хлорофилла-а; z – глубина измерений, меняющаяся от нуля до максимальной глубины погружения с шагом в один метр; K_{490} – диффузный

коэффициент ослабления излучения на длине волны 490 нм; w – весовое значение, зависящее от глубины по закону Бугера-Ламберта-Бера (6.2); $C_{chlA}(z)$ – вертикальный профиль концентрации хлорофилла-а, усредненной с шагом в один метр. Во время измерений максимальная глубина погружения (z_{max}) была глубже глубины проникновения света (z_{90}) для длины волны 490 нм. Это было сделано для того, чтобы исключить вклад отражения от дна в восходящее излучение моря и учесть распределение фитопланктона во всем столбе воды, регистрируемого спутником. Коэффициент K_{490} предполагался постоянным с глубиной и был теоретически рассчитан из измерений фотосинтетически активной радиации (ФАР) по глубине. Таким образом, значение C_{chlA}^w дает оценку значения концентрации хлорофилла-а, которое должно наблюдаться со спутника.

Пример вертикального распределения концентрации хлорофилла-а и соответствующая весовая функция представлены на Рисунок 7.1 а (кривая 2,3 и кривая 1, соответственно). Однако, такие измерения достаточно трудоемкие и требуют около 20-30 минут для получения одного профиля. С этой точки зрения лучше использовать проточные флуориметрические измерения морской воды, выполняемые по ходу судна. С помощью разработанного авторами проекта флуориметра проточные измерения могут быть проведены каждые 10 секунд, что обеспечивает пространственное разрешение 40 метров при скорости судна 8 узлов. Таким образом, за один час возможно собрать 360 измерений, которые будут находиться в 10-14 пикселях спутникового изображения с разрешением 1 км. Закачка воды производится примерно с глубины 2 метров, поэтому для разработки спутниковых биооптических алгоритмов такие измерения также надо приводить к оптически взвешенным значениям. С этой целью был проведен регрессионный анализ проточных измерений и оптически взвешенных значений, полученных во время глубинных измерений концентрации хлорофилла-а. Соответствующая диаграмма рассеяния представлена на Рисунок 7.1 б., где сравниваются значения интенсивности

флуоресценции хлорофилла-а в ед. комбинационного рассеяния воды (I_{chlA}) и значения C_{chlA}^w , рассчитанные по формулам 1 и 2. Применение процедуры робастной регрессии дает следующий результат:

$$C_{chlA}^w = 4.2 \times I_{chlA} - 0.06, R^2 = 0.94 \quad (7.3)$$

Подобный анализ для оптически взвешенных значений концентрации растворенного органического вещества (РОВ) (C_{DOM}^w):

$$C_{DOM}^w = 9.6 \times I_{DOM} - 0.72, R^2 = 0.96 \quad (7.4)$$

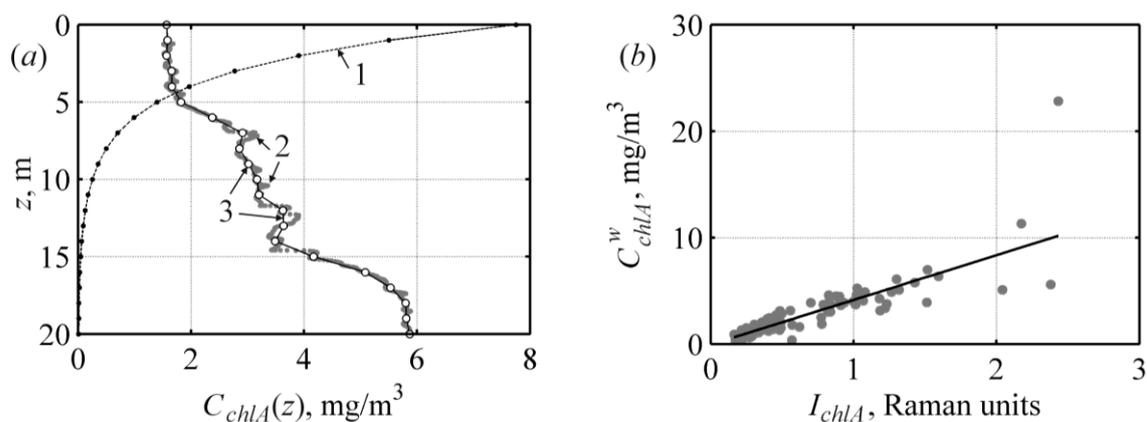


Рисунок 7.1. (а) Вертикальный профиль концентрации хлорофилла-а (кривая 2 – исходные данные, кривая 3 – данные, усредненные с шагом 1 метр), весовая функция (кривая 1); (б) Диаграмма рассеяния проточных измерений концентрации хлорофилла-а с глубины 2 м и оптически взвешенных значений концентрации хлорофилла-а.

Погрешности алгоритмов атмосферной коррекции восходящего излучения.

Спутниковые оценки параметров восходящего излучения зависят в первую очередь от имеющихся алгоритмов атмосферной коррекции излучения. Эффективность последних зависит также от региональных особенностей акватории. Совместное измерение спектральных характеристик спутниковыми и мобильными средствами позволяет оценить качество применяемых методик.

В ходе двух экспедиций проведенных с 31 августа 2009 года по 14 сентября 2009 года и 29-30 сентября 2009 года, был проведен ряд *in situ* измерений восходящего излучения. По этим измерениям были рассчитаны коэффициенты отражательной способности моря с известными координатами и датами. Для коррекции спутниковых данных в пакете программ SeaDAS версии 5.4 есть 12 атмосферных моделей, выбор которых при проведении коррекции излучения осуществляется на основе типа акватории (прибрежная, морская или океаническая) и данных об относительной влажности воздуха. В наших экспериментах рассматривались алгоритмы атмосферной коррекции, которые самостоятельно выбирают нужную модель. Это *multi scattering NIR correction*, *multi scattering MUMM correction* и *single scattering correction*.

По спутниковым и подспутниковым измерениям были рассчитаны значения R_{rs} – дистанционно измеренной отражательной способности воды. Эти расчеты были проделаны для каждого из трех исследуемых алгоритмов атмосферной коррекции. Использовались данные радиометра MODIS спутника Aqua. Имея данные о величине R_{rs} в конкретных точках, рассчитанной программным комплексом SeaDAS при различных алгоритмах атмосферной коррекции, и *in situ* измерения этой же величины в этих же точках, можно получить абсолютную и относительную погрешность расчета R_{rs} ПК SeaDAS при различных алгоритмах атмосферной коррекции. Так как алгоритм расчета R_{rs} использовался один и тот же, а различие было только в атмосферной коррекции, то сравнительный анализ этих погрешностей может показать, какой из алгоритмов атмосферной коррекции наиболее предпочтителен для применения в акватории залива Петра Великого. Здесь и далее:

$$\Delta = R_{rs_{MODIS}} - R_{rs};$$

$$\delta = \Delta / R_{rs}.$$

Δ – абсолютная погрешность расчета R_{rs} ;

δ - относительная погрешность расчета R_{rs} ;

R_{rs_MODIS} – отражательная способность, рассчитанная ПК SeaDAS по данным радиометра MODIS;

R_{rs} - отражательная способность, рассчитанная по результатам *in situ* измерения.

Были получены значения абсолютной и относительной погрешности R_{rs} при каждом из алгоритмов атмосферной коррекции для всех исследуемых каналов радиометра MODIS. По полученным значениям были построены соответствующие графики. Подробно результаты приведены в предыдущем отчете. На рисунках 7.2 и 7.3. представлены примеры рассогласований измерений. На графиках по оси ординат изображена ошибка расчета R_{rs} (абсолютная, либо относительная), по оси абсцисс – день, когда проводились *in situ* измерения. Разные линии обозначают разный канал радиометра MODIS. Для аккуратного применения алгоритмов выявлены параметры атмосферы, влияющие на точность работы алгоритмов.

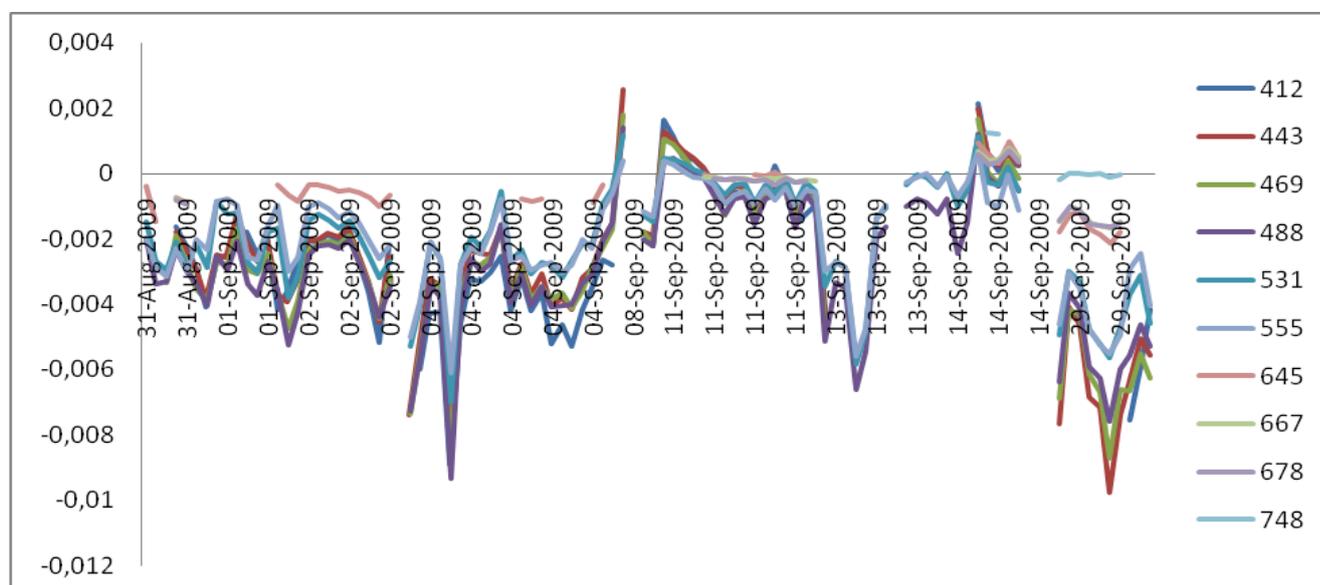


Рисунок 7.2. График абсолютной погрешности MUMM.

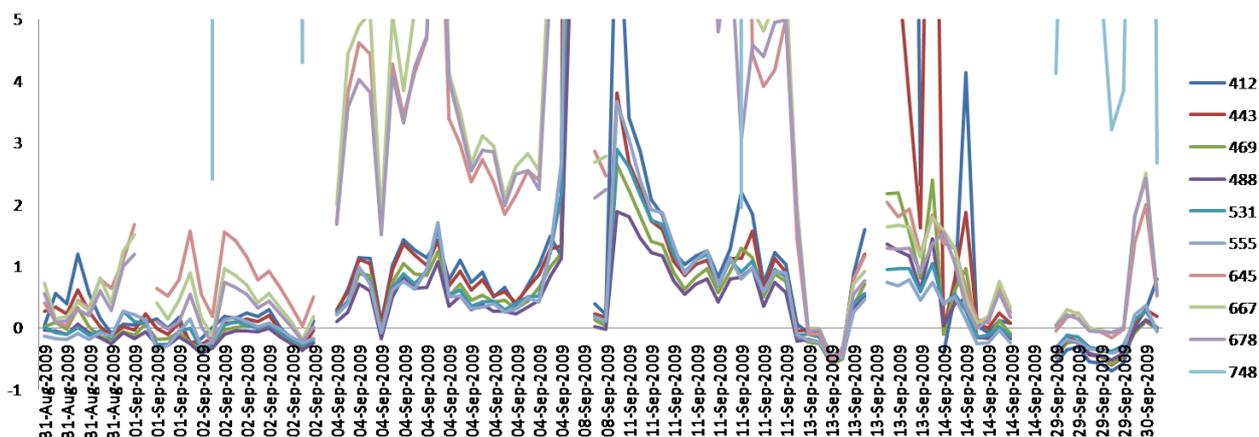


Рисунок 7.3. График относительной погрешности MUMM.

Все это позволило сделать следующие выводы:

- В диапазоне 412 – 555 нм наилучшим образом показала себя атмосферная коррекция MUMM.
- NIR-коррекция работает с постоянной систематической ошибкой.
- Single scattering коррекция выдает результаты схожие с MUMM, ее результаты чуть лучше в «красных» каналах, где обе эти коррекции допускают значительные ошибки.
- Зависимость ошибок расчета от параметров среды (в данном случае параметра альbedo облачности) позволяют надеяться на возможность создания алгоритма, распознающего условия для выбора оптимального алгоритма атмосферной коррекции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с целями и задачами проекта работы велись в нескольких направлениях:

1. Развитие материально-технической базы УСУ путем разработки аппаратных комплексов оперативного контроля окружающей среды, основанных на современных методах дистанционного оптического зондирования;

2. развитие методологической базы УСУ, позволяющей расширить круг решаемых задач в области экологического мониторинга морских акваторий и атмосферы;

3. исследование взаимосвязи атмосферных процессов с радиационно-активными компонентами атмосферы;

4. изучение региональных особенностей распределения биооптических характеристик океана и их пространственной и временной изменчивости.

Цель работ по государственному контракту, заключающаяся в проведении исследований в предметной области НИР, предоставлении услуг организациям-пользователям и развитии материальной базы УСУ достигнута.

В УСУ «ЛаМИ» основной акцент сделан на развитии методов дистанционного и оперативного контроля окружающей среды. Активно поддерживаются методы спутникового мониторинга и оптического зондирования атмосферы и океана. Среди оптических методов развиваются как дистанционные методы пассивного и активного зондирования, так и методы оперативного контроля, такие как лазерная флуориметрия и лазерная искровая спектроскопия морской воды.

Современные темпы развития спутниковых технологий открывают широкую перспективу глобального мониторинга окружающей среды из космоса.

Разработанная в рамках проекта вычислительная система автоматического расчета характеристик атмосферы и океана по спутниковым данным позволяет,

практически в режиме реального времени (от 15 минут до нескольких часов), поставлять карты более чем для 200 видов геофизических параметров океана и атмосферы. Их основными потребителями уже сейчас являются научно-исследовательские подразделения, рыбопромысловые организации, ледокольный флот и администрации северных портов, экологические организации. В частности, в рамках международной программы ООН UNEP для стран-участников программы в Северо-западной части Тихого океана поставляются карты биопараметров моря по 5 проблемным заливам Китая, Южной Кореи, России и Японии (адрес ресурсов - <ftp://ftp.satellite.dvo.ru/pub/MODIS/PROJ/>).

В процессе работы по проекту были устранены ошибки калибровки измерительной аппаратуры японского спутника MTSAT-1R, что позволило устранить систематическую ошибку измерения температурных полей океана (ТПО) и создать алгоритм расчета ТПО по данным геостационарного спутника MTSAT-1R, удовлетворяющий международным стандартам точности. На основе данного метода построена процедура создания композиционных карт температуры поверхности моря, которая существенно улучшила информационную основу спутникового мониторинга термических параметров морей.

Созданные методики и программно-технические средства расчета полей температуры и влажности атмосферы позволяют обеспечить гидрометеорологические службы необходимой информацией для ее использования в региональных моделях прогноза погоды. Учитывая то, что аэрологическая сеть Дальнего востока на сегодняшний день насчитывает всего лишь 10% от необходимого количества станций, альтернативных спутнику источников поставки информации просто не существует. Подтверждением этому явился официальный запрос начальника Приморского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды о поставке

атмосферных профилей температуры, влажности атмосферы и композиционных карт температуры моря.

В области охраны окружающей среды и рационального природопользования информация спутниковых радиометров MODIS широко используется для оценки экологического состояния морских акваторий по содержанию в морской воде хлорофилла «а» и растворенного органического вещества (РОВ). Современные спутниковые биооптические алгоритмы позволяют не только исследовать пространственное распределение этих параметров, отражающее содержание фитопланктона в морской воде, но и оценить спектральные плотности поглощения света и флуоресценции клетками фитопланктона, что открывает принципиальную возможность определения доминирующего вида микроводорослей в морской воде. Одной из ключевых проблем охраны морских акваторий северо-западной части Тихоокеанского региона является идентификация и предсказание массового и/или вредоносного цветения микроводорослей в море. Решение этой задачи потребовало объединения усилий специалистов различных специальностей – биологов, океанологов, физиков и математиков. Проведен широкий круг экспериментальных работ по изучению временной изменчивости доминирующих видов водорослей в заливе Петра Великого, измерению спектральных характеристик поглощения и флуоресценции типичных токсичных водорослей, исследованию спектральных характеристик восходящего излучения моря. В результате получены новые знания и накоплены различные измерения, обеспечивающие принципиальное решение этой задачи. При наличии более 2000 видов микроводорослей, их пространственно-временная изменчивость не столь велика. В произвольно выбранной пробе воды биомасса лидирующей водоросли составляет около 60% общей биомассы, а 4-х лидирующих водорослей – около 90%. При этом наблюдается значительная пространственно-временная устойчивость видового

состава, что снимет принципиальные ограничения на решение задачи распознавания вида водоросли.

Несмотря на то, что спутниковые технологии используются при решении широкого круга задач экологического мониторинга окружающей среды, они не способны обеспечить всю полноту информации без привлечения дополнительных средств наземного базирования. Вполне естественно, что объединение методов *in situ*, дистанционных оптических и спутниковых – наиболее эффективный способ получения информации, которая складывается из детальной информации на определенной координатной сетке точечных измерений и их интерполяции на всю область интереса с учетом спутниковых измерений. Включение спутниковых технологий в практику натуральных измерений является эффективным способом повышения уровня достоверности информации и средством взаимной верификации.

Вопросу верификации спутниковых измерений хлорофилла «а» в морской воде в рамках проекта было уделено значительное внимание, поскольку клетка фитопланктона, основным пигментом которой является хлорофилл «а», в свою очередь является хорошим индикатором экологического состояния морской акватории, а спутниковая информация о полях хлорофилла «а» - одним из лучших средств организации мониторинга акваторий.

Хорошо известно, что наибольшие погрешности спутниковые алгоритмы допускают в водах второго оптического типа, к которым относятся прибрежные и шельфовые воды Японского моря. Можно выделить 2 основных источника этих погрешностей. Один из них – отсутствие в прибрежных водах стационарных регрессионных соотношений между оптически-эффективными компонентами морской воды, которые оказывают влияние на светорассеивающие свойства морской толщи. К таким компонентам относятся хлорофилл «а», взвесь и дейтриды, растворенное органическое вещество. Одна из причин отсутствия долговременных связей между этими компонентами –

поступление в морские акватории большого количества растворенной органики и терригенного вещества со сточными и речными водами.

Второй источник погрешностей связан с блоком атмосферной коррекции спутникового алгоритма, который предназначен для устранения искажений, вносимых атмосферой в регистрируемый спутником спектральный состав отраженного морской толщей солнечного излучения. Если учесть, что в видимом диапазоне длин волн более 90% величины регистрируемого сигнала обусловлено рассеянием молекулами воздуха и аэрозолем, то становится очевидным важная роль процедуры атмосферной коррекции. Присутствие в атмосфере переходной зоны материк-океан большого разнообразия типов аэрозоля (континентальный, морской, антропогенный) не позволяет использовать упрощенную процедуру атмосферной коррекции спутниковых спектральных каналов с использованием монофракционной аэрозольной модели, как это делается в случае измерений над открытым океаном (морской аэрозоль) или континентом (континентальный аэрозоль).

Кроме того, присутствие в прибрежных водах большого количества взвеси и пузырьков воздуха приводит к тому, что в инфракрасной области спектра морская вода перестает полностью поглощать ниспадающее излучение, что нарушает корректность использования инфракрасных спутниковых каналов в процедуре атмосферной коррекции, которая хорошо работает в водах открытого океана.

Таким образом, проблема уменьшения погрешностей спутниковых алгоритмов расчета концентрации хлорофилла «а» по спектральным характеристикам восходящего из морской толщи излучения сводится к решению двух задач: совершенствованию процедуры атмосферной коррекции с учетом дополнительной информации о микрофизических характеристиках аэрозоля и их вертикального распределения; разработке регионального биооптического алгоритма, учитывающего региональные взаимосвязи оптических компонентов морской воды и их сезонную изменчивость.

Решение задачи уменьшения погрешности спутниковых алгоритмов потребовало создания судового аппаратного комплекса для проведения подспутниковых измерений. Поскольку речь идет о верификации спутниковых алгоритмов определения биооптических характеристик морской воды в водах второго типа, то комплекс должен измерять, как оптические характеристики атмосферы (важные для процедуры атмосферной коррекции спутниковых алгоритмов), так и биооптические характеристики морской воды. Причем для корректного использования оптических характеристик атмосферы в процедуре атмосферной коррекции спутниковых алгоритмов необходима информация об атмосферном аэрозоле и вертикальном распределении его микрофизических характеристик. По этой причине был разработан судовой мобильный лидар трехчастотного зондирования, который совместно с мобильным вариантом солнечного фотометра обеспечивал расчет спектральной плотности оптической аэрозольной толщи и вертикального распределения коэффициента экстинкции. Для верификации процедуры атмосферной коррекции на борту судна использовался гиперспектральный радиометр фирмы SDA, который производил измерения спектральной плотности коэффициента яркости моря (аналог нормированной яркости спектральных каналов спутникового радиометра MODIS).

С целью верификации биооптических алгоритмов расчета концентрации хлорофилла «а» в рамках проекта разработан лазерный проточный флуориметр для измерения спектров флуоресценции хлорофилла «а» и РОВ по ходу движения судна и оптоволоконный зонд, который пристыковывается к флуориметру в режиме дрейфа при проведении зондирования по глубине. Необходимость разработки флуориметра собственной конструкции объясняется несколькими причинами. Во-первых, стандартные флуориметры не позволяют получить спектральную форму кривой флуоресценции морской воды вблизи максимума флуоресценции хлорофилла «а». В лучшем случае они обеспечивают измерение флуоресценции в двух точках – на длине волны

максимума флуоресценции хлорофилла «а» и на одной из длин волн широкой линии флуоресценции РОВ. Для вод с богатым содержанием РОВ такой подход не позволяет корректно разделить вклады РОВ и хлорофилла «а» на длине волны 680 нм (максимум флуоресценции хлорофилла «а») из-за того, что форма линии РОВ сильно зависит от его состава и природы. Во-вторых, в флуориметре нашей разработки реализована схема двухчастотного возбуждения флуоресценции, которая позволяет более полно исследовать пигментный состав клетки фитопланктона и предоставляет дополнительную информацию о природе РОВ.

Разработанный в рамках контракта мобильный комплекс аппаратуры оптического зондирования атмосферы и океана прошел испытание в трех морских экспедициях, общая продолжительность которых составила более трех месяцев. Две морские экспедиции проведены в Охотском море, одна – Японском. Конструктивные особенности аппаратуры позволяют использовать ее на судах любого класса. При проведении работ в заливе Петра Великого аппаратура размещалась на небольшом водолазно-разъездном катере. В течение двух месяцев комплекс использовался на парусном учебном судне «Надежда» Морского государственного университета (МГУ им. адмирала Г.И. Невельского), где параллельно с проведением научных исследований проводилась стажировка студентов университета по специальности радиофизика. В настоящее время в МГУ под аппаратуру комплекса оборудуется одна из яхт океанского класса.

Собранный во время морских экспедиций экспериментальный материал использовался для верификации спутниковых измерений и изучения пространственной изменчивости полей хлорофилла «а» в морской воде и оптических характеристик аэрозоля в атмосфере переходной зоны океан-материк. Результаты этих исследований представлены в отчете и частично опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Следует отметить, что сжатые сроки выполнения проекта не позволили полностью провести анализ

собранного материала. Одна из морских экспедиций закончилась в середине сентября 2010 г. В настоящее время проводятся экспедиционные работы в акватории залива Петра Великого, и будут продолжаться до конца навигационного периода – ноября месяца 2010 г.

Одна из задач, решаемых в рамках данного проекта, состояла в разработке двухуровневой системы мониторинга загрязнений органическими пленками небольших по площади морских акваторий. Проблема экологического мониторинга водных бассейнов обычно решается с помощью нескольких взаимодополняющих уровней контроля. Каждый из уровней использует свою аппаратуру и методы анализа. Если говорить о контроле загрязнений морских акваторий нефтепродуктами (НП), то первый уровень контроля, как правило, основан на дистанционных методах регистрации и картирования снимков (областей морской поверхности с пониженным уровнем мелкомасштабного волнения) на морской поверхности, а все остальные уровни служат для идентификации, определения количества и состава НП. За рубежом такие системы контроля используются компаниями, добывающими нефть на морском шельфе и собственниками торговых и нефтяных терминалов. Системы оперативного контроля позволяют значительно сократить издержки на ликвидацию последствий аварийных разливов НП и избавиться от штрафов за загрязнение окружающей среды. В качестве первого уровня контроля используются радиолокационные и радиометрические спутниковые изображения морской поверхности, на которых слики проявляются в виде темных областей пониженного рассеяния зондирующего излучения. Стоимость такой информации достаточно велика и составляет порядка 1000 долларов за один спутниковый снимок.

Для небольших акваторий альтернативным методом обнаружения и картирования сликовых образований может служить видеосъемка морской поверхности простой видеосистемой, установленной на возвышенности. В видеокадре изображение слика на морской поверхности, в противоположность

радиолокационному снимку, проявляется в виде более светлой области поверхности. Этот метод активно использовался в 70-80 годы прошлого столетия в связи с развитием методов аэрофотосъемки. В рамках данного проекта была разработана видеосистема панорамной съемки морской поверхности и математическое обеспечение, позволяющее в реальном масштабе времени осуществлять привязку изображения к географическим координатам и производить оценку изменения площади и скорости перемещения слик на морской поверхности.

В качестве аппаратуры второго уровня контроля разработана мобильная лидарная установка, позволяющая по спектру флуоресценции морской воды проводить идентификацию органических соединений в пленке на морской поверхности.

В период выполнения проекта выполнен большой объем работ по изучению временной и пространственной изменчивости радиационно-активных компонентов атмосферы таких, как аэрозоль, водяной пар и озон.

Особый интерес представлял весене-летний период времени, когда в атмосфере Дальневосточного региона наблюдается трансграничный перенос пылевого аэрозоля из аридных районов Китая и Монголии. Для изучения свойств аэрозоля в этот период времени была организована совместная с Сибирским отделением РАН экспедиция, в течение которой с помощью разнообразной аппаратуры проводились измерения оптических, микрофизических и химических свойств аэрозоля в переходной зоне океан-материк.

Результаты исследования пространственной и временной изменчивости атмосферной оптической толщи методами лидарного и пассивного зондирования показали, что атмосфера переходной зоны материк-океан юга Приморского края отличается примерно двукратным превышением аэрозольного замутнения в сравнении с другими (морскими и континентальными) районами умеренных широт. Высокие значения

аэрозольной оптической толщине (АОТ) обусловлены выносами континентального аэрозоля из аридных районов Китая и Монголии. Доминирующая роль в трансграничном переносе азиатского аэрозоля принадлежит системе зональных ветров, формируемой субтропическим струйным течением в области северной тропопаузы и барическими системами Дальневосточного региона. В вертикальных профилях аэрозоль-молекулярного рассеяния отчетливо прослеживаются две области повышенного светорассеяния, характеризующих высотное распределение аэрозоля: широкий подтропопаузный слой со статистическим максимумом на высоте 8 км и слой в области ППС (~2 км). Вариабельность подтропопаузного слоя в значительной степени отражает пылевую активность и перенос аэрозоля (с задержкой на ~3 суток) из аридных районов Китая и Монголии.

Селективность спектрального хода АОТ атмосферы (средний показатель $\alpha=0.94$) над Японским морем близка к континентальным значениям из-за большого содержания мелкодисперсного аэрозоля выносимого с континента в акватории Дальневосточных морей.

Результаты подспутниковых измерений спектральной плотности восходящего из морской толщи излучения с помощью гиперспектрального радиометра и концентрации хлорофилла «а» с помощью аппаратурных средств, разработанных в рамках данного проекта, показывают, что многообразие типов атмосферного аэрозоля в переходной зоне материк-океан является одним из основных источников серьезных погрешностей спутниковых алгоритмов восстановления концентрации хлорофилла «а» в морской воде.

Сравнительный анализ точности работы различных алгоритмов атмосферной коррекции доступных в программном комплексе SeaDAS показал, что в диапазоне 412 – 555 нм наилучшим образом показала себя атмосферная коррекция MUMM. Зависимость ошибок расчета от параметров среды (в данном случае параметра альbedo облачности) позволяет надеяться на

возможность создания алгоритма, распознающего условия для выбора оптимального алгоритма атмосферной коррекции.

Список использованных источников

1. Kendall L., Carder F., Chen R., Lee Z., Hawes S.K., Cannizzaro J.P., Case 2 Chlorophyll-a. *MODIS Algorithm Theoretical Basis Document*, 19, 2003, p. 1-67. [http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/DOCS/atbd_mod19.pdf]
2. Salyuk P, Bukin O., Alexanin A., Pavlov A., Mayor A., Shmirko K., Akmaykin D. Optical properties of waters of Peter the Great Bay compares with satellite ocean colour data // *International Journal of Remote Sensing*, 2010, in press.
3. Алексанин А.И., Орлова Т.Ю., Фомин Е.В., Шевченко О.Г. Перспективы определения видового состава фитопланктона по данным радиометра MODIS // Сборник статей «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов», выпуск 5, том II. – М.: ООО «Азбука-2000», 2008, с.22-29.
4. Алексанин А.И., Орлова Т.Ю., Фомин Е.В., Шевченко О.Г. Перспективы определения видового состава фитопланктона по данным радиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. Том II, выпуск 5. М.: ООО «Азбука-2000», 2008. С. 22-29.
5. Карнаухов В.Н. Люминесцентный спектральный анализ клетки. М.: Наука, 1978. 209 с.
6. Карнаухов В.Н., Яшин В.А. Спектральные исследования морского микропланктона: АН СССР: Научный центр биологических исследований. Институт биологической физики. Пущино, 1980. 60 с.
7. Коновалова Г.В. Сезонная характеристика фитопланктона в Амурском заливе Японского моря // *Океанология*. 1972. Т.12. №1. С.123-128.
8. Коновалова Г.В., Орлова Т.Ю. Паутова Л.А. Атлас фитопланктона Японского моря. Л.: Наука, 1989. 185с.

9. Орлова Т.Ю., Стоник И.В., Шевченко О.Г. Флора микроводорослей планктона Амурского залива Японского моря // Биол. моря, 2009. Т.35. №1. С.48-61.
10. Семина Г.И. Фитопланктон Тихого океана. М.: Наука, 1974. 239 с.
11. Симакова Н.К., Орлова Т.Ю., Селина М.С. «Красный прилив», вызванный жгутиковой водорослью *Chattonella* sp. (Raphidophyceae), в Амурском заливе Японского моря // Биол. моря. 1990. № 5. С.77-78.
12. Стоник И.В. Потенциально токсичная динофитовая водоросль *Prorocentrum minimum* в Амурском заливе Японского моря // Биол. моря. 1994. Т.20. № 6. С. 419-425.
13. Стоник И.В., Селина М.С. Фитопланктон как показатель трофности вод залива Петра Великого Японского моря // Биол. моря. 1995. Т. 21. № 6. С. 403-406.
14. Стоник И.В., Орлова Т.Ю., Шевченко О.Г. Виды рода *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyta) из залива Петра Великого Японского моря // Биол. моря. 2001. Т.27. № 6. С.416-420.
15. Суханова И.Н. Концентрирование фитопланктона в пробе // Современные методы количественной оценки распределения морского планктона. М.: Наука, 1983. С. 97-105.
16. Andersen P. Design and implementation of some harmful algal monitoring systems // IOC technical series. UNESCO, 1996. № 44. 110 p.
17. Anderson C.,R., Siegel D.A., Kudela R.M., Brzezinski M.A. Empirical models of toxigenic *Pseudo-nitzschia* blooms: potential use as a remote detection tool in the Santa Barbara channel // Harmful Algae. 2009. V. 8. № 3. P. 478-492
18. Babin M., Cullen J.J.,Roesler C.S, Donaghay P.L., Doucetter G.J., Kahru M., Lewis M.R., Scholin C.A., Sieracki M.E., Sosik H.M. New approaches and technologies for observing hamful algal blooms// Oceanography. 2005. V.18. № 2. P.210-227.

19. Bates, S.S., Trainer V.L. The ecology of harmful diatoms // Ecology of harmful algae/ Eds. Granéli E. and Turner J. Springer-Verlag, Heidelberg, 2006. P. 81–93.
20. Buric Z., Vilicic D., Mihalic K.C., Caric M., Kralj K., Ljubescic N. *Pseudonitzschia* blooms in the Zrmanja river estuary (Eastern Adriatic sea) // Diatom research. 2008. V. 23. P. 51-63.
21. Cannizzaro J.P., Carder K.L., Chen F.R., Heil C.A., Vargo G.A. A novel technique for detection of the toxic dinoflagellate, *Karenia brevis*, in the Gulf of Mexico from remotely sensed ocean color data // Cont. Shelf Res. 2004. V. 28. P. 137–158.
22. Colijn F. Changes. in plankton communities when, where and why // ICES Mar Sci. Symp. 1992. V. 195. P.193-212.
23. Hallegraeff G.M. Harmful algal blooms: A global overview// Manual of harmful marine microalgae. Paris: UNESCO-Publishing, 2003. P. 1-793.
24. Hasle G.R., Fryxell G.A. Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy// Trans. Am. Microsc. Soc. 1970. V. 89. P. 469–474.
25. Kendall L., Carder, F., Chen R., Lee Z., Hawes S.K., AND Cannizzaro J.P. Case 2 Chlorophyll-a. *MODIS Algorithm Theoretical Basis Document*, 2003. V. 19. P. 1-67.
26. Koike K., Horie Y., Suzuki T., Kobiyama A., Kuzikara K., Takagi K., Kaga S., Oshima Y. *Protoceratium reticulatum* in northern Japan: environmental factors associated with seasonal occurrence and related contamination of yessotoxin in scallops // J. Plankton Res. 2006. V. 28. №. 1. P.103-112.
27. Lee J.S., Igarashi T., Fraga S., Dahl E., Hovgaard P., Yasumoto T. Determination of diarrhetic shellfish toxins in various dinoflagellate species // J. Appl. Phycol. 1989. № 1. P. 147-152.
28. Orlova T.Yu., Zhukova N.V., Stonik I.V. Bloom-forming diatom *Pseudonitzschia pungens* in Amurskii bay (the Sea of Japan): morphology, ecology and biochemistry // Harmful and toxic algal blooms / Eds. Yasumoto, T., Oshima, Y. and Fukuyo, Y. UNESCO, 1996. P. 147-150.

29. Orlova T Yu, Stonik I V, Aizdaicher N A, Bates S S, Leger C, Fehling J. Toxicity, morphology and distribution of *Pseudo-nitzschia calliantha*, *P. multistriata* and *P. multiseriata* (Bacillariophyta) from the northwestern Sea of Japan // *Botanica Marina*. 2008. V. 51. P. 297-306.
30. Roesler C.S., Etheridge S.M., Pitcher G.C. Application of an ocean color algal taxa detection model to red tides in the Southern Benguela // *Harmful Algae* 2002. Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, Florida Institute of Oceanography, and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO /eds. Steidinger, K. A., Lansberg, J. H., Tomas, C.R., and Vargo, G. A., UNESCO, 2004. P. 303-305.
31. Shutler, J., Miller P.I., Groom S.B., Aiken J.. Automatic Near-Real Time Mapping of MERIS Data as Input to a Phytoplankton Classifier // *Proceedings of the MERIS (A)ATSR Workshop 2005 (CD-ROM)*, MERIS-(A)ATSR Workshop, 26-30 Sep. 2005, Frascati, Italy, 2005. 6 pp.
32. Yamada M., Tsuruta A., A list of phytoplankton as eutrophic level indicator // *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 1980a. V. 46. № 12. P. 1435-1438.
33. Yamada M., Tsuruta A., Yoshida Y. Classification of eutrophic levels in several marine regions // *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 1980b. V. 46. № 12. P. 1439-1444.
34. Zuenko Yu., Selina M., Stonik I. On conditions of phytoplankton blooms in the coastal waters of the north-western East/Japan sea // *Ocean Science Journal*. 2006. V.41. № 1. P. 31-41.
35. Нельсон-Смит А. Загрязнение моря нефтью. Л.: Гирометеоиздат, 1973. 50 с.
36. В.М. Смирнов, Обзор методов мониторинга водных поверхностей. / Радиотехнические и телевизионные системы: Сб. науч. тр. Под ред. Б.С. Тимофеева; СПбГУАП.СПб., 2000. с.35-42
37. С.А. Ермаков, И.А. Сергиевская, Л.А. Гуцин. Пленки на морской поверхности и их дистанционное зондирование. // Четвёртая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования

Земли из космоса», Москва, ИКИ РАН, 13-17 ноября 2006 г. Сборник тезисов конференции .

38. Алексанин А.И., Орлова Т.Ю., Фомин Е.В., Шевченко О.Г. Перспективы определения видового состава фитопланктона по данным радиометра MODIS // Сборник статей «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов», выпуск 5, том II. – М.: ООО «Азбука-2000», 2008, с.22-29.

39. Anderson G. P. , Berk A., Acharya P. K. et al. MODTRAN4: radiative transfer modeling for remote sensing // Proc. SPIE3866, 1999, С 2–10.

40. Hye-Sook Park, Byung-Ju Sohn Evaluating the calibration of MTSAT-1R infrared channels using collocated Terra MODIS measurements. // Joint 2007 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference and the 15th Satellite Meteorology & Oceanography Conference of the American Meteorological Society / Амстердам, Нидерланды, 24-28 сентября 2007 года. труды конференции.

41. McClain, E.P., W.G. Pichel, C.C. Walton. Comparative performance of AVHRR-based multichannel sea surface temperatures. // Journal of Geophysical Research, 1985, Т. 90 С 11587–11601.

42. Коэффициенты восстановления температуры поверхности океана по данным ИК измерений // http://www.neodaas.ac.uk/faq/sst_equations.

43. Алексанин А.И., Дьяков С.Е., Катаманов С.Н., Наумкин Ю.В. Технология обработки данных полярно-орбитальных спутников FY-1C/1D для мониторинга физических полей океана // Подводные исследования и робототехника. 2006. № 62. С. 82-91.

44. Smith R.C., Baker K.S. Optical properties of the clearest natural waters // Appl. Opt., 1981, vol. 20, p. 177-184.

45. Lee Z.P., Carder K.L., Peacock T.G., Davis C.O., Mueller J.I. Method to derive ocean absorption coefficients from remote-sensing reflectance // Applied Optics, 1996, vol. 35, № 3, p. 453-462.

46. Tassan S. Local algorithm using SeaWiFS data for retrieval phytoplankton, pigments, suspended sediment, and yellow substance in coastal waters // Appl. Opt., 1994, vol. 33, p. 2369-2378.
47. Griersmith D. [Report] Sixth Asia-Pacific satellite data exchange and utilization (APSDEU) meeting. Seoul: KMA, 2005. P. 34.
48. Li, J., Wolf, W.W., Global sounding of the atmosphere ATOVS Measurements: The algorithm and validation// Journal of applied meteorology, 2000, V39, p.1248-1268.
49. Ohring G., Lord S., Derber J. et al. Applications of satellite remote sensing in numerical weather and climate prediction // Adv. Space Res. 2002. Vol. 30, N 11. P. 2433–2439.
50. Сакерин С.М., Павлов А.Н., Букин О.А., Кабанов Д.М., Корниенко Г.И., Полькин В.В., Столярчук С.Ю., Турчинович Ю.С., Шмирко К.А., Майор А.Ю. Результаты комплексного аэрозольного эксперимента в переходной зоне "материк-океан" (Приморье и Японское море). Часть 1. Вариации аэрозольной оптической толщи атмосферы и вертикальные профили / том 23, 2010, № 08, стр.691-699.
51. Афонин А.В., Энгель М.В., Майор А.Ю., Павлов А.Н., Столярчук С.Ю., Шмирко К.А., Букин О.А. Результаты комплексного аэрозольного эксперимента в переходной зоне "материк-океан" (Приморье и Японское море). Часть 2. Анализ пространственной и временной изменчивости характеристик аэрозоля по спутниковым данным и лидарным измерениям / том 23, 2010, № 09, стр.811-819.
52. Кабанов Д.М., Сакерин С.М., Турчинович С.А. Солнечный фотометр для научного мониторинга (аппаратура, методики, алгоритмы) // Оптика атмосферы и океана. 2001. т. 14, № 12, с. 1162-1169.
53. Кабанов Д.М., Веретенников В.В., Воронина Ю.В., Сакерин С.М., Турчинович Ю.С. Информационная система для сетевых солнечных фотометров // Оптика атмосферы и океана. 2009, Т. 22, №1. с. 61-67.

54. Сакерин С.М., В.В. Веретенников, Т.Б. Журавлева, Д.М. Кабанов, И.М. Насртдинов Сравнительный анализ радиационных характеристик аэрозоля в ситуациях дымов лесных пожаров и обычных условиях // Оптика атмосферы и океана. 2010, (в печати).
55. Holben B.N., Eck T.F., Slutsker I., Tanre D., Buis J.P., Setzer A., Vermote E., Reagan J.A., Kaufman Y.J., Nakadjima T., Lavenu F., Jankowiak I., and Smirnov A. AERONET - A federated instrument network and data archive for aerosol characterization // Rem. Sens. Env., 1998, 66(1), P. 1-16.
56. F. Marengo, V. Santacesaria, A.F. Bais, D. Balis, Alcide di Sarra, A. Papayannis, and C. Zerefos. Optical properties of tropospheric aerosols determined by lidar and spectrophotometric measurements (Photochemical Activity and Solar Ultraviolet Radiation campaign) // Applied Optics, 1997, Vol. 36, No. 27, p. 6875-6886.
57. Klet J. Stable analytical inversion solution for processing lidar returns // Applied Optics, 1981, Vol. 20, pp. 211-220.
58. Reichardt J. and Reichardt S. Correlations among the optical properties of cirrus-cloud particles: Microphysical interpretation // Journal of Geophysical Research, 2002, V. 107, No. D21, 4562, doi:10.1029/2002JD002589. pp. AAC8 –AAC8-11.
59. Kumara V.S., K. Parameswarana, B.V. Krishna Murthy. Lidar observations of cirrus cloud near the tropical tropopause: general features // Atmospheric Research, 2003, V 66, 203-227.
60. Kumara V.S., K. Parameswarana, B.V. Krishna Murthy. Lidar observations of cirrus cloud near the tropical tropopause: general features // Atmospheric Research, 2003, V 66, 203-227.
61. Kumara V.S., K. Parameswarana, B.V. Krishna Murthy. Lidar observations of cirrus cloud near the tropical tropopause: general features // Atmospheric Research, 2003, V 66, 203-227.
62. [http:// ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html](http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html)
63. https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/get_data/data_pool
64. <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni>

65. <http://aeronet.gsfc.nasa.gov>
66. Букин О.А., Шмирко, К.А., Майор А.Ю., Столярчук С.Ю. Особенности распределения атмосферного аэрозоля по размерам в переходной зоне материк-океан.// Известия РАН. Физика атмосферы и океана, т. 46, № 2, с. 50-56, 2010.
67. A. Tarantola Inverse Problem Theory and Model Parameter Estimation. // Cambridge University Press, - 2005. -305p.
68. I. Veselovsky, A. Kolgotin, V. Griaznov Inversion of multiwavelength Raman lidar data for retrieval of bimodal aerosol size distribution // Applied optics – 2004. - V. 43. –P. 1180-1196.
69. A. Tarantola Inverse Problem Theory and Model Parameter Estimation. // Cambridge University Press, - 2005. -305p.
70. О. А. Букин, А. Н. Павлов, П. А. Салюк, Ю. Н. Кульчин, К. А. Шмирко, С. Ю. Столярчук, А. Ю. Бубновский. Особенности высотного распределения аэрозоля во время прохождения пылевых бурь над заливом Петра Великого в 2006 г. и их воздействие на фитопланктонные сообщества Японского моря // Оптика атмосферы и океана. -2007г., -т. 20. - № 04, -С.341-348.
71. О. А. Букин, К. А. Шмирко, А. Н. Павлов, С. Ю. Столярчук. Особенности структуры планетарного пограничного слоя атмосферы в переходной зоне материк-океан по данным лидарного и метео-зондирования //Известия РАН. Физика атмосферы и океана, - 2008. –т. 44. - № 6. – С.822-826.
72. Хргиан А.Х. Физика атмосферного озона. Л.: Гидро-метеоиздат, 1973, 290с.
73. T. Nagahama et al., 4th International Workshop on Global Change: Connection to the Arctic 2003 (GCCA4) (2003).
74. Vaughan G., O'Connor F.M., Warein D.P. Observations of streamers in the troposphere and stratosphere using ozone lidar// J. of Atmospheric Chemistry. 2001.V. 38. N 3 pp. 295-315.
75. Reid S. J., Vaughan G. Lamination in ozone profiles in the lower stratosphere// Quart. J. Roy Meteor. Soc. 1991.N 117. pp. 825-844.

76. Y.K. Kim, H.W. Lee, and Y.S. Moon. The Stratosphere Exchange of Ozone and Aerosols over Korea// Atmospheric Environment, 2002, V 36, N3, pp.449-463.

Список сокращенных названий родов водорослей

Amph.	– <i>Amphora</i>	Frag.	– <i>Fragilaria</i>	P.nitz.	– <i>Pseudo-nitzschia</i>
Amp.	– <i>Amphiprora</i>	Ettl.	– <i>Eutreptiella</i>	Obl.	– <i>Oblea</i>
Aster.	– <i>Asterionella</i>	Eugl.	– <i>Euglena</i>	Odon.	– <i>Odontella</i>
Ast.	– <i>Asterionellopsis</i>	Eutr.	– <i>Eutreptia</i>	Ox.	– <i>Oxyrrhis</i>
Atth.	– <i>Attheya</i>	Gony.	– <i>Gonyaulax</i>	Plag.	– <i>Plagioselmis</i>
Cer.	– <i>Ceratium</i>	Gym.	– <i>Gymnodinium</i>	Pleur.	– <i>Pleurosigma</i>
Chaet.	– <i>Chaetoceros</i>	Gyrd.	– <i>Gyrodinium</i>	Poly.	– <i>Polykrikos</i>
Cocc.	– <i>Cocconeis</i>	Gyrs.	– <i>Gyrosigma</i>	Pr.cer.	– <i>Protoceratium</i>
Cosc.	– <i>Coscinodiscus</i>	Het.	– <i>Heterocapsa</i>	Pror.	– <i>Prorocentrum</i>
Cycl.	– <i>Cyclotella</i>	Lept.	– <i>Leptocylindrus</i>	Prot.	– <i>Protoperdinium</i>
Cyl.	– <i>Cylindrotheca</i>	Licm.	– <i>Licmophora</i>	Pyx.	– <i>Pyxidicula</i>
Dact.	– <i>Dactyliosolen</i>	Mel.	– <i>Melosira</i>	Rhiz.	– <i>Rhizosolenia</i>
Dict.	– <i>Dictyocha</i>	Nav.	– <i>Navicula</i>	S.fl.	– <i>Small flagellates</i>
Dinob.	– <i>Dinobryon</i>	Nitz.	– <i>Nitzschia</i>	Skel.	– <i>Skeletonema</i>
Dinop.	– <i>Dinophysis</i>	Noct.	– <i>Noctiluca</i>	Scrip.	– <i>Scrippsiella</i>
Dipl.	– <i>Diplopsalis</i>	Sur.	– <i>Surirella</i>	Thal.	– <i>Thalassiosira</i>
Dit.	– <i>Ditylum</i>	Coch.	– <i>Cochlodinium</i>	Thlm.	– <i>Thalassionema</i>
Ebr.	– <i>Ebria</i>	Fib.	– <i>Fibrocapsa</i>	Thlx.	– <i>Thalassiothrix</i>

Приложение Б

СПРАВКА

о числе публикаций, содержащих результаты интеллектуальной деятельности, полученные в рамках выполнения проекта по государственному контракту № 02.518.11.7152 от "08" июня 2009г.

Тема: "Разработка методов и аппаратурных средств оперативного мониторинга атмосферы, гидросферы и состояния морских экосистем с использованием УСУ «Лазерных методов исследования конденсированных сред, биологических объектов и мониторинга окружающей среды»"

Период публикаций – этап № 1-2 календарного плана ("08" июня 2009 г. по "07" декабря 2009 г)

№	Автор		Наименование публикации		Наименование ведущего научного журнала (издания) опубликовавшего работу	Страна	Дата выхода	Краткое описание связи содержания публикации с результатами работ по проекту
	Ф.И.О.	Должность и место работы	на русском языке	на языке оригинала (для публикаций на иностранном языке)				
1.	Букин О.А., Павлов А.Н., Столярчук С.Ю., Шмирко К.А.	ИАПУ ДВО РАН	Результаты совместных лидарных наблюдений аэрозольных возмущений стратосферы на станциях сети CIS-LiNet в 2008 г.	Русский	Оптика атмосферы и океана, Т. 22, 2009, № 05, стр.450-456.	Россия	Конец 2009 г.	
2.	Александрин А.И. Еременко А.С.	ИАПУ ДВО РАН	Автоматический расчет траекторий тропических циклонов по данным геостационарных	Русский	Исследование Земли из космоса, 2009, № 5, с. 22–31.	Россия	Конец 2009 г.	

			метеорологических спутников					
3.	Катаманов С.Н.	ИАПУ ДВО РАН	Автоматический метод коррекции географической привязки MTSAT-1R/VISSR изображений с пиксельной точностью	Русский	"Исследование Земли из космоса", 2009, №3, с. 55-66	Россия	Середина 2009 г.	

Период публикаций – этап № 3-4 календарного плана ("01" января 2010 г. по "01" ноября 2010 г)

№	Автор		Наименование публикации		Наименование ведущего научного журнала (издания) опубликовавшего работу	Страна	Дата выхода	Краткое описание связи содержания публикации с результатами работ по проекту
	Ф.И.О.	Должность и место работы	на русском языке	на языке оригинала (для публикаций на иностранном языке)				
1.	Букин О.А., Павлов А.Н., Столярчук С.Ю., Шмирко К.А.	ИАПУ ДВО РАН	Особенности распределения атмосферного аэрозоля по размерам в переходной зоне материк-океан		Известия РАН. Физика атмосферы и океана, т. 46, № 2, с. 50-56, 2010	Россия	Начало 2010 г.	
2.	Сакерин С.М., Павлов А.Н., Букин О.А., Кабанов Д.М., Корниенко Г.И., Полькин В.В., Столярчук С.Ю.,	ИАПУ ДВО РАН, Институт оптики атмосферы СО РАН	Результаты комплексного аэрозольного эксперимента в переходной зоне "материк-океан" (Приморье и Японское море). Часть 1. Вариации аэрозольной		Оптика атмосферы и океана, том 23, 2010, № 08, стр.691-699	Россия	Середина 2010 г.	

	Турчинович Ю.С., Шмирко К.А., Майор А.Ю.		оптической толщи атмосферы и вертикальные профили /					
3.	Афонин А.В., Энгель М.В., Майор А.Ю., Павлов А.Н., Столярчук С.Ю., Шмирко К.А., Букин О.А.	ИАПУ ДВО РАН, Институт оптики атмосферы СО РАН	Результаты комплексного аэрозольного эксперимента в переходной зоне "материк-океан" (Приморье и Японское море). Часть 2. Анализ пространственной и временной изменчивости характеристик аэрозоля по спутниковым данным и лидарным измерениям		Оптика атмосферы и океана, том 23, 2010, № 09, стр.811-819	Россия	Середина 2010 г.	
4.	Букин О.А., Павлов А.Н., Салюк П.А., Голик С.С., Ильин А.А., Бубновский А.Ю.	ИАПУ ДВО РАН	Лазерные технологии исследования океана /		Оптика атмосферы и океана, том 23, 2010, № 10, стр.926-934	Россия	Конец 2010 г.	
5.	П. Салюк, В. Крикун, А. Алексанин, А. Майор, А. Павлов, К.	ТОИ ДВО РАН, ИАПУ ДВО РАН, МГУ им. адмирала	Оптические свойства морской воды залива Петра Великого, сравнение со	'Optical properties of Peter the Great Bay waters compared with	International Journal of Remote Sensing, 31: 17, 4651 — 4664	Франция	Сентябрь 2010 г.	

	Шмирко, Д. Акмайкин	Невельского	спутниковыми данными	satellite ocean color data'				
6	Левин В.А Алексанин А.И. Алексанина М.Г. Дьяков С.Е. Недолужко И.В. Фомин Е.В.	ИАПУ ДВО РАН	Разработка технологий спутникового мониторинга окружающей среды по данным метеорологических спутников	Русский	Открытое образование, 2010, № 5, с.26-39.	Россия	Конец 2010 г.	
7	Недолужко И.В.	ИАПУ ДВО РАН	Интеграция ресурсов Центра коллективного пользования регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН в среду SSE Европейского космического агентства	Русский	Вычислительные технологии, 2010, том 15, № 4, с.116-130.	Россия	Середина 2010 г.	
8	Алексанин А.И. Дьяков С.Е.	ИАПУ ДВО РАН	Кросс-калибровка ИК-каналов спутника MTSAT- 1R и алгоритм расчета температуры поверхности моря	Русский	Исследование Земли из космоса, 2010, № 5, с. 3– 10.	Россия	Конец 2010 г.	

Директор ИАПУ ДВО РАН
М.П.

Ю.Н. Кульчин

Приложение В

СПРАВКА

о числе диссертационных работ

на соискание ученых степеней, защищенных в рамках выполнения проектов (подготовленных по результатам исследований с использованием научного оборудования сети центров)¹ по государственному

контракту

№ 02.518.11.7152 от "08" июня 2010г.

"Разработка методов и аппаратурных средств оперативного мониторинга атмосферы, гидросферы и состояния морских экосистем с использованием УСУ «Лазерных методов исследования конденсированных сред, биоло-гических объектов и мониторинга окружающей среды»

Период – этап № 3-4 календарного плана ("01" января 2010 г. по "01" ноября 2010 г.)

№	Автор диссертационной работы		Наименование диссертационной работы	Наименование и шифр научной специальности	Номер диссертационного совета	Дата защиты диссертации	Решение диссертационного совета
	Ф.И.О.	Место работы, должность					
Диссертации на соискание ученой степени кандидата наук							
1.	Шмирко Константин Александрович	ИА ПУ ДВО РАН, инженер	«Методы лазерного зондирования в задачах изучения пространственно-временной изменчивости оптических и микрофизических параметров радиационно-активных компонентов атмосферы в переходной зоне "материк - океан"»	Лазерная физика, 01.04.21	Д005.007.02	«29» декабря 2009	протокол № 11 заседания диссертационного совета Д 005.007.02 при Институте автоматики и процессов управления ДВО РАН от 29.12.2009
2	Буланов Алексей	ТОИ	«Режимы движения плазменных фронтов и	Лазерная физика,	Д005.007.02	«29» декабря	протокол № 12 заседания

¹ Выбирается наименование в зависимости от мероприятия, в рамках которого выполняется государственный контракт.

	Владимирович	ДВО РАН	динамика спектральных линий при оптическом пробое в газе и на поверхности конденсированных сред»	01.04.21		2009	диссертационного совета Д 005.007.02 при Институте автоматики и процессов управления ДВО РАН от 29.12.2009
--	--------------	---------	--	----------	--	------	--

Директор ИАПУ ДВО РАН
М.П.

Ю.Н. Кульчин

СПРАВКА

о числе патентов и поданных заявок на результаты интеллектуальной деятельности (РИД),
полученных в рамках работ по государственному контракту
№ № 02.518.11.7152 от "08" июня 2009г.

Тема: " Разработка методов и аппаратурных средств оперативного мониторинга атмосферы, гидросферы и состояния морских экосистем с использованием УСУ «Лазерных методов исследования конденсированных сред, биологических объектов и мониторинга окружающей среды.»

№	Вид РИД ²	Название		Авторы		Реквизиты охранного документа					Указание, в какие документы по проекту внедрен РИД
		на иностранном языке	на русском языке	Ф.И.О.	Место работы, должность	Правообладатель	Страна	Вид документа	Номер	Дата	
1.	Получены охранные документы на										
1.1.	Полезная модель		Бортовой измерительный комплекс параметров воды	1. Кульчин Ю. Н, 2. Вознесенский С.С, 3. Гамаюнов Е.Л, 4. Коротенко А.А.	1. ИАПУ ДВО РАН, директор. 2. ИАПУ ДВО РАН, зав.лаб. 3. ИАПУ ДВО РАН, с.н.с. 4. ИАПУ ДВО РАН, аспирант	ИАПУ ДВО РАН	Россия	Патент	RU 96662 U1 МПК G01N2 1/01 (2006.01)	Заявка от 17.03.2010, Опубликовано 10.08.2010	Автоматизированный комплекс мобильных средств оперативного контроля состояния клеток фитопланктона, как важнейшего индикатора экологического состояния водоемов

Директор ИАПУ ДВО РАН

Кульчин Ю.Н.

² программы для электронных вычислительных машин (программы для ЭВМ); базы данных; изобретения; полезные модели; промышленные образцы; селекционные достижения; топологии интегральных микросхем; секреты производства (ноу-хау).

СПРАВКА

**о количестве дипломных работ, подготовленных по результатам исследований
с использованием научного оборудования сети центров
в рамках государственного контракта
№ 02.518.11.7152 от "08" июня 2010г.**

**"Разработка методов и аппаратурных средств оперативного мониторинга атмосферы, гидросферы и
состояния морских экосистем с использованием УСУ «Лазерных методов исследования конденсированных
сред, биологических объектов и мониторинга окружающей среды»"**

Период – этап № 1-2 календарного плана ("08" июня 2009 г. по "07" декабря 2009 г.)

№	Дипломник		Наименование дипломной работы	Наименование и шифр получаемой специальности	Дата защиты работы
	Ф.И.О.	Наименование учебного заведения			
1.	Дорошенко Иван Михайлович	Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского	Формирование и взаимосвязь оптических характеристик морской воды в процессе функционирования фитопланктона, воспроизводства и трансформации растворенных органических веществ	«Радиофизика и электроника», 01080165	Июль 2009 г.
2	Зуев Евгений Викторович	Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского	Волоконно-оптический датчик регистрации параметров деформационных полей	«Радиофизика и электроника», 01080165	Июль 2009 г..
3	Кононов Денис Алексеевич	Морской государственный университет им. адмирала Г.И.	Разработка доплеровского профилографа скорости течения	«Радиофизика и электроника», 01080165	Июль 2009 г.

		Невельского			
4	Лебедев Михаил Сергеевич	Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского	Цифровая приемная гидроакустическая система для работы в грунте	«Радиофизика и электроника», 01080165	Июль 2009 г
5	Пермяков Илья Михайлович	Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского	Методы обработки изображений спектров, регистрируемых ПЗС матрицами	«Радиофизика и электроника», 01080165	Июль 2009 г
6	Лысенко Алексей Сергеевич	Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского	Оптоэлектронная многоканальная измерительная линия с распределенной чувствительностью для регистрации квазистатической деформации	«Радиофизика и электроника», 01080165	Июль 2009 г
7	Сорокин Илья Олегович	Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского	Обработка сигнала доплеровского ультразвукового профилографа скорости течения	«Радиофизика и электроника», 01080165	Июль 2009 г
8	Туфанов Игорь Евгеньевич	Дальневосточный государственный университет	Система видеомониторинга морских акваторий	Системное программирование, 010211	Июнь 2009 г
9	Качур Василий Анатольевич	Дальневосточный государственный университет	Мониторинг вредоносного цветения водорослей по спутниковым данным	Системное программирование, 010211	Июнь 2009 г

Период – этап № 3-4 календарного плана ("01" января 2010 г. по "01" ноября 2010 г.)

№	Дипломник		Наименование дипломной работы	Наименование и шифр получаемой специальности	Дата защиты работы
	Ф.И.О.	Наименование учебного заведения			
1.	Иванов Алексей Викторович	Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского	Расчет динамики фемтосекундных импульсов в структурированных средах	«Радиофизика и электроника», 01080165	Июль 2010 г
2	Кольцов Юрий Владимирович	Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского	Статистический анализ особенностей закономерности динамики атмосферного аэрозоля в переходной зоне «материк-океана» по данным многолетних лидарных измерений	«Радиофизика и электроника», 01080165	Июль 2010 г
3	Корнилов Денис Сергеевич	Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского	Исследование капельной структуры облаков с помощью лидара с переменным углом «поля зрения».	«Радиофизика и электроника», 01080165	Июль 2010 г
4	Прощенко Дмитрий Юрьевич	Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского	Исследование генерации суперконтинуума в прозрачных биосиликатных нанокompозитных материалах.	«Радиофизика и электроника», 01080165	Июль 2010 г
5	Сушарник Елена Вячеславовна	Морской государственный университет им.	Разработка волоконно-оптической линии для сети системы охраны периметра	«Радиофизика и электроника», 01080165	Июль 2010 г

		адмирала Г.И. Невельского			
6	Чехленок Алексей Анатольевич	Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского	Измерение нелинейно-оптических характеристик биометрических материалов с помощью метода z- scan.	«Радиофизика и электроника», 01080165	Июль 2010 г
7	Янюк Элина Александровна	Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского	Разработка волоконно-оптического датчика температуры	«Радиофизика и электроника», 01080165	Июль 2010 г
8	Карнацкий Антон Юрьевич	Дальневосточный государственный университет	Расчет скоростей перемещения льда по спутниковым изображениям Охотского моря	Системное программирование, 010211	Июнь 2010
9	Филоненко Олег Валерьевич	Дальневосточный государственный университет	Восстановление температуры поверхности океана по данным метеорологических спутников Земли в условиях частичной облачности	Прикладная математика и информатика 010500	Июнь 2010

Руководитель проекта

Павлов А.Н.

СПРАВКА
о числе организаций-пользователей уникальных стендов, установок и объектов научной
инфраструктуры
в рамках государственного контракта
№ 02.518.11.7152 от "08" июня 2009г.

Период – этап № 1 календарного плана ("08" июня 2009 г. по "31" августа 2009 г.)

№ п.п	Полное наименование и	Адрес организации-пользователя
1	Институт Химии ДВО РАН	690022, г.Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159
2	Дальневосточный Государственный Университет	690950, Владивосток, Суханова, 8
3	Морской Физико-Технический институт Морского государственного университета им. Г.И. Невельского	690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50а

Период – этап № 2 календарного плана ("01" сентября 2009 г. по "07" декабря 2009 г.)

№ п.п	Полное наименование и	Адрес организации-пользователя
1	Институт Химии ДВО РАН	690022, г.Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159
2	Дальневосточный Государственный Университет	690950, Владивосток, Суханова, 8
3	Морской Физико-Технический институт Морского государственного университета им. Г.И. Невельского	690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50а
4	Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН	690041, Владивосток, ул.Балтийская, 43
5	Институт биологии моря им. Жермундского	690041, Россия г. Владивосток ул. Пальчевского, д. 17
6	ФГУП «ТИНРО-Центр	689600, г.Владивосток, ул. Тупик Шевченко, 4

Период – этап № 3 календарного плана ("01" января 2010 г. по "31" августа 2010 г.)

№ п.п	Полное наименование и	Адрес организации-пользователя
-------	-----------------------	--------------------------------

1	Институт Химии ДВО РАН	690022, г.Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159
2	Дальневосточный Государственный Университет	690950, Владивосток, Суханова, 8
3	Морской Физико-Технический институт Морского государственного университета им. Г.И. Невельского	690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50а
4	Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН	690041, Владивосток, ул.Балтийская, 43
5	Институт биологии моря им. Жермундского	690041, Россия г. Владивосток ул. Пальчевского, д. 17
6	ФГУП «ТИНРО-Центр	689600, г.Владивосток, ул. Тупик Шевченко, 4
7	ФГУ «Администрация морского порта Магадан»	685000, г. Магадан, Морской торговый порт.
8	МЧС	

Период – этап № 4 календарного плана ("01" сентября 2010 г. по "01" ноября 2010 г.)

№ п.п	Полное наименование и	Адрес организации-пользователя
1	Институт Химии ДВО РАН	690022, г.Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159
2	Дальневосточный Государственный Университет	690950, Владивосток, Суханова, 8
3	Морской Физико-Технический институт Морского государственного университета им. Г.И. Невельского	690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50а
4	Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН	690041, Владивосток, ул.Балтийская, 43
5	Институт биологии моря им. Жермундского	690041, Россия г. Владивосток ул. Пальчевского, д. 17
6	ФГУП «ТИНРО-Центр	689600, г.Владивосток, ул. Тупик Шевченко, 4
7	ФГУ «Администрация морского порта Магадан»	685000, г. Магадан, Морской торговый порт.
8	МЧС	

**Перечень организаций-пользователей уникальных стендов, установок и объектов научной инфраструктуры
в рамках государственного контракта № 02.518.11.7152 от "08" июня 2009г.
за весь период с 08 июня 2009 г по 01 ноября 2010 г.**

№	Полное наименование и адрес организации-пользователя	Проект организации-пользователя			Договор с исполнителем госконтракта о пользовании		Период пользования (даты начала и окончания)	Дата и № акта о предоставлении услуги пользования	Краткое описание проведенных работ и их воздействия на результаты работ по проекту пользователя
		Наименование и шифр	Период действия (месяц и год начали и окончания)	Заказчик	Дата заключения	№			
	Организации – пользователи уникальных стендов и объектов инфраструктуры, приступившие к работе на 1 этапе выполнения государственного контракта								
	Стенд лазерной индуцированной флуоресценции								

№	Полное наименование и адрес организации-пользователя	Проект организации-пользователя			Договор с исполнителем госконтракта о пользовании		Период пользования (даты начала и окончания)	Дата и № акта о предоставлении услуги пользования	Краткое описание проведенных работ и их воздействия на результаты работ по проекту пользователя
		Наименование и шифр	Период действия (месяц и год начала и окончания)	Заказчик	Дата заключения	№			
1	Институт химии ДВО РАН 690022, г.Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159	09-1-ОХНМ-08 «Принципы дизайна и супермолекулярная фотохимия полифункциональных хромогенных и люминогенных комплексных соединений лантаноидов и р-элементов»	2009-2010	Институт химии ДВО РАН	20.07.09	1	01.01.10-31.08.10	Работа продолжается	Ведется исследование нелинейных и флуоресцентных свойств кристаллов, органических пленок и порошков.

№	Полное наименование и адрес организации-пользователя	Проект организации-пользователя			Договор с исполнителем госконтракта о пользовании		Период пользования (даты начала и окончания)	Дата и № акта о предоставлении услуги пользования	Краткое описание проведенных работ и их воздействия на результаты работ по проекту пользователя
		Наименование и шифр	Период действия (месяц и год начала и окончания)	Заказчик	Дата заключения	№			
...2	Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского. 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50а	02.740.11.04.39 «Исследование процессов взаимодействия основных климатообразующих факторов и фитопланктонных сообществ в северо-западной части Тихого океана»	2009-2010	Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского	10.07.09	3	01.01.10-31.08.10	Работа продолжается	Исследование флуоресцентных свойств клетки фитопланктона. Результаты используются в дипломной работе по специальности радиофизика
Зонд океанологический с флуориметром, проточный флуориметр, флуоресцентный спектрометр Varian									

№	Полное наименование и адрес организации-пользователя	Проект организации-пользователя			Договор с исполнителем госконтракта о пользовании		Период пользования (даты начала и окончания)	Дата и № акта о предоставлении услуги пользования	Краткое описание проведенных работ и их воздействия на результаты работ по проекту пользователя
		Наименование и шифр	Период действия (месяц и год начала и окончания)	Заказчик	Дата заключения	№			
3	Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, 690041, Владивосток, ул.Балтийская, 43	Грант президента РФ № МК-4483.2009.5	10.09 – 12.10	Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН	20.07.09	2	01.01.10-31.08.10	Работа продолжается	Исследования распределения хлорофилла-а и растворенного органического вещества в прибрежных районах залива Петра Великого. Экспериментальные работы в рамках грантов ДВО и Государственных контрактов
<i>Стенд лазерной искровой спектроскопии</i>									

№	Полное наименование и адрес организации-пользователя	Проект организации-пользователя			Договор с исполнителем госконтракта о пользовании		Период пользования (даты начала и окончания)	Дата и № акта о предоставлении услуги пользования	Краткое описание проведенных работ и их воздействия на результаты работ по проекту пользователя
		Наименование и шифр	Период действия (месяц и год начала и окончания)	Заказчик	Дата заключения	№			
...4	Дальневосточный государственный университет, Россия, 690950, Владивосток, Суханова, 8	Управление плазменным фронтом при оптическом пробое в конденсированных средах и газах 2.1.1/1443	01.2009-12.2010	Дальневосточный государственный университет, Россия	20.07.09	5	01.01.10-31.08.10	Работа продолжается	При проведении работ были получены результаты спектральной динамики оптического пробоя, что позволило уточнить механизмы взаимодействия лазерных плазм
Организации – пользователи уникальных стендов и объектов инфраструктуры на, приступившие к работе на 2 этапе выполнения государственного контракта									
Центр спутникового мониторинга									

№	Полное наименование и адрес организации-пользователя	Проект организации-пользователя			Договор с исполнителем госконтракта о пользовании		Период пользования (даты начала и окончания)	Дата и № акта о предоставлении услуги пользования	Краткое описание проведенных работ и их воздействия на результаты работ по проекту пользователя
		Наименование и шифр	Период действия (месяц и год начала и окончания)	Заказчик	Дата заключения	№			
5	Институт биологии моря им. Жермундского о 690041, Россия г. Владивосток ул. Пальчевского, д. 17	Организация мониторинга фитопланктона и токсичных видов в его составе по данным спутниковых и in situ наблюдений	2009-2010	Институт биологии моря им. Жермундского	24.08.2009	4	01.01.10-31.08.10	Работа продолжается	Оценка спектральных характеристик вредоносных и массово цветущих водорослей Дальнего Востока и. создание методик распознавания видов

№	Полное наименование и адрес организации-пользователя	Проект организации-пользователя			Договор с исполнителем госконтракта о пользовании		Период пользования (даты начала и окончания)	Дата и № акта о предоставлении услуги пользования	Краткое описание проведенных работ и их воздействия на результаты работ по проекту пользователя
		Наименование и шифр	Период действия (месяц и год начала и окончания)	Заказчик	Дата заключения	№			
6	ФГУ «Администрация морского порта Магадан», Адрес: 685000, г. Магадан, Морской торговый порт.	Информационное обеспечение спутниковыми данными ледовой обстановки в Охотском море на подступах к порту Магадан.	01.2010-05.2010	Администрация морского порта Магадан	01.12.2009		1.01.10-31.05.10	31.05.10. б\н,	Спутниковый мониторинг Дальневосточных
7	МЧС	Спутниковый мониторинг чрезвычайных ситуаций	Постоянно с 2009 г по н/время	МЧС	Распределение по центру спутникового мониторинга от 12.05.2009	б/н	12.05.09-н/время	Работа продолжается	Спутниковый мониторинг чрезвычайных ситуаций
8	ФГУП «ТИПРО-Центр 689600, г. Владивосток, ул. Тупик Шевченко, 4	Использование данных космических наблюдений в рыбохозяйственных целях	01.2010-12.2010	Госкомрыболовства России	11.01.2009	б/н	01.01.2010-30.11.2010	30.06.2010, б\н,	Спутниковый мониторинг Дальневосточных морей для оценки рыбопромысловых районов

