ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИКИ РАН)

УДК 519 687 53.087 004.09 504.3.504.06

Номер государственной регистрации 01.20.0.2.00164

УТВЕРЖДАЮ
Директор
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института космических исследований
Российской академии наук
академик РАН
_____ Л.М. Зелёный
«___» _____ 2016 г.
м.п.

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Разработка методов и технологий спутникового мониторинга для научных исследований глобальных изменений и обеспечения безопасности.

Тема МОНИТОРИНГ

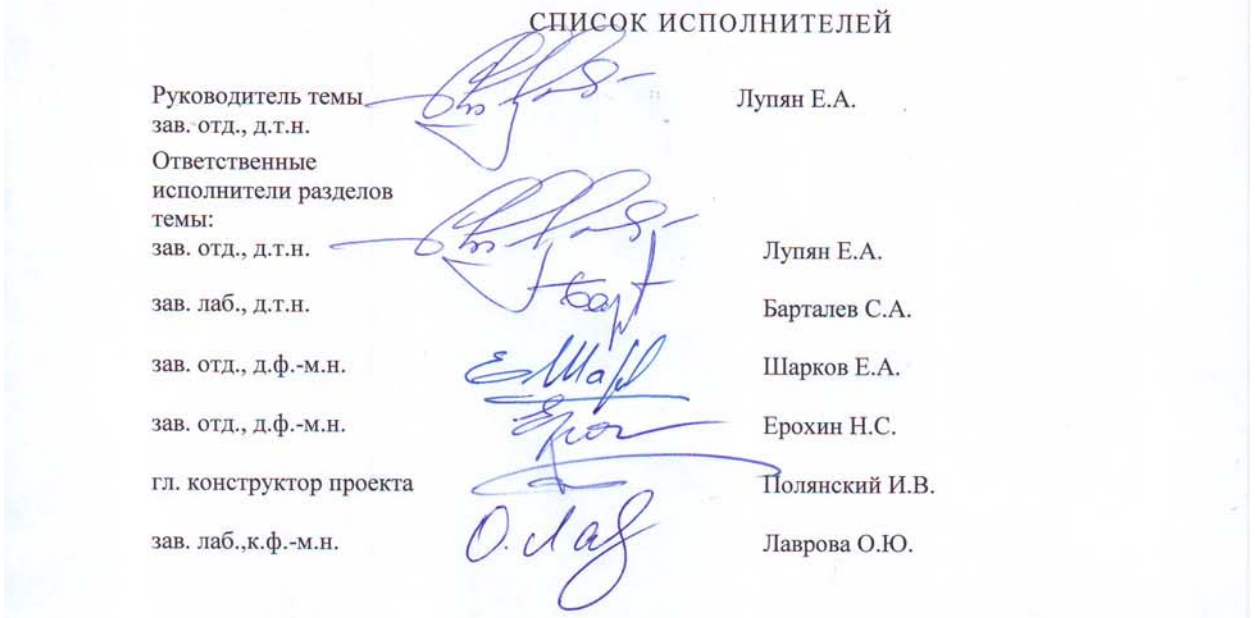
0028-2014-0005

Научный руководитель
д.т.н._____Е.А. Лупян
«____»_____2016 г.

Москва

2016

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

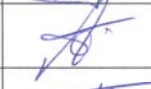
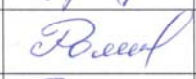
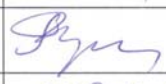
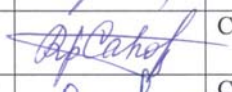
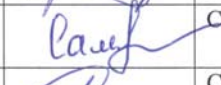


СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы зав. отд., д.т.н.	Лупян Е.А.
Ответственные исполнители разделов темы: зав. отд., д.т.н.	Лупян Е.А.
зав. лаб., д.т.н.	Барталев С.А.
зав. отд., д.ф.-м.н.	Шарков Е.А.
зав. отд., д.ф.-м.н.	Ерохин Н.С.
гл. конструктор проекта	Полянский И.В.
зав. лаб.,к.ф.-м.н.	Лаврова О.Ю.

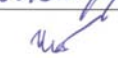
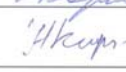
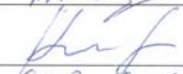
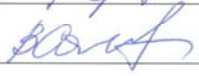
СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ (ОТДЕЛ «ТЕХНОЛОГИЙ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА»)

Должность, ученая степень, ученое звание	Подпись	ФИО	Номера разделов отчета в работе по которым принимал участие исполнитель
Вед. инженер		Артамонова Ю.В.	1
Инженер		Андреев М.В.	1
Н.с., к.т.н.		Балашов И.В.	1,2,3
Зав. лав., д.т.н. профессор		Барталев С.А.	1,2.3
Гл. спец., к.т.н.		Барталев С.С.	2
Вед. констр., к.х.н.		Белоконь З.С.	1
Н.с., к.т.н.		Бурцев М.А.	1,2.3.
Вед. электроник		Васильева А.И.	1
Гл. спец., д.т.н.		Ведешин Л.А.	1
Гл. спец.		Дегай А.Ю.	1
Инженер		Дианова Д.С.	1
С.н.с., к.т.н.		Егоров В.А.	2
Вед. Констр.		Ершов Д.В.	2
Н.с.		Ефремов В.Ю.	1,3
Н.с., к.ф.-м.н.		Жарко В.О.	2
Н.с., к.т.н.		Златопольский А.А.	1
Вед.н.с., д.т.н.		Золотарев В.В.	6
Инженер		Кашницкий А.В.	1,2,3
Инженер		Кобец Д.А.	1,2
Гл. спец., к.ф.-м.н.		Козочкина А.А.	1,2

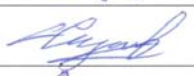
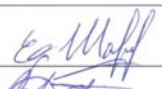
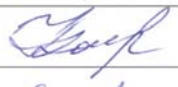
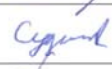
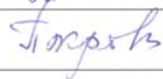
М.н.с.		Колбудаев П.А.	2
Инженер		Константинова А.М.	1,2,3
С.н.с., к.ф.-м.н.		Крашенинникова Ю.С.	1,2
Вед.констр., к.г.н.		Ладонина Н.Н.	2
Зав. отд., д.т.н.		Лупян Е.А.	1,2,3,6,7
Зав. лаб, к.ф.-м.н.		Мазуров А.А.	1
Вед.констр.		Марченков В.В.	1,3
М.н.с.		Матвеев А.М.	1,2,3
М.н.с.		Миклашевич Т.С.	2
Вед. инженер		Нестеренко А.А.	1
Вед. констр.		Панова О.Ю.	1
Зав. сект., к.ф.-м.н.		Плотников Д.Е.	2
Зав. сект.		Прошин А.А.	1,3
Зав. лаб, к.ф.-м.н.		Пырков В.Н.	1
Вед. инженер		Радченко М.В.	1
Гл. спец.		Романов А.А.	1
Вед. инженер		Романова Л.В.	1
С.н.с., д.т.н.		Руткевич П.Б.	5
Гл. спец.		Саворский В.П.	1,3
Инженер		Самофал Е.В.	2
Инженер		Сенько К.С.	1,3
Гл. констр. пр.		Скачков В.А.	1
Гл. спец.		Смирнов Н.К.	1

Инженер		Солодилов А.В.	1
М.н.с.		Стыценко Ф.В.	2
Вед. инженер		Суднева О.А.	1
Инженер		Сычугов И.Г.	1,2,3
Н.с., к.т.н.		Толпин В.А.	1,2,3
Н.с., к.т.н.		Уваров И.А.	1,3
М.н.с.		Хвостиков С.А.	2
М.н.с.		Ховратович Т.С.	2
Инженер		Черных В.Н.	1
С.н.с.		Шабанов Н.В.	2
Ст. лаб.		Юдин Д.А.	1

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ (ОТДЕЛ "ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА" (ОТДЕЛ 55)) ПО ТЕМЕ «МОНИТОРИНГ»

Должность, ученая степень, ученое звание	подпись	ФИО	Номера разделов отчета в работе, по которым принимал участие исполнитель
Зав. отд., д.ф.-м.н., профессор, зав. лаб.		Шарков Е.А.	3,4,5
Лаборатории 551			
зав.лаб., к.ф.м.н.		Раев М.Д.	3
вед. кон.		Беляков Г.И.	3
с.н.с., к.ф.м.н.		Боярский Д.А.	3
вед. эл.		Игнатов В.А.	3
с.н.с., к.ф.м.н.		Поспелов М.Н.	3
гл.спец.		Русаков М.Ю.	3
с.н.с., к.ф.м.н.		Тихонов В.В.	3
Лаборатория 552			
зав. лаб., к.ф.м.н.		Скворцов Е.И.	4
вед. прогр.		Втюрин С.А.	5
гл. спец.		Городецкий А.К.	5
вед. кон.		Кирсанова Н.И.	4
н.с., к.ф.м.н.		Князев Н.А.	5
вед.инж.		Козлов Е.М.	5
вед.инж.		Кузнецова М.А.	5
вед.инж., к.ф.м.н.		Сячинов В.И.	5

1

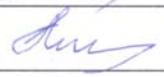
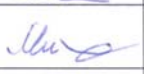
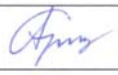
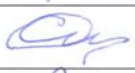
Лаборатория 553			
зав.лаб., к.ф.м.н.		Кузьмин А.В.	3,4
эл.		Антонов В.С.	4
вед.инж.		Горшков А.А.	4
м.н.с.		Пашинов Е.В.	4
с.н.с..,к.ф.м.н.		Садовский И.Н.	4
м.н.с.		Сазонов Д.С.	4
вед.матем.		Селунский А.Б.	4
м.н.с.		Утеев А.В.	4
гл.кон.пр.		Хапин Ю.Б.	4
Лаборатория 554			
зав.лаб., к.ф.м.н.		Лаврова О.Ю.	4,7
н.с.		Бочарова Т.Ю.	4,7
м.н.с.		Калашникова Н.А.	4
вед.инж.		Кондакова И.С.	7
вед.инж.		Ликучева Т.В.	7
с.н.с., к.ф.м.н.		Митягина М.И.	4,7
вед.прог., к.б.н.		Строчков А.Я.	4,7
Лаборатория 555			
зав.лаб., д.ф.м.н., профессор		Шарков Е.А.	3,4
с.н.с.		Ванина-Дарт Л.Б.	5
вед.инж.		Зверева О.О.	3
гл.спец.		Комарова Н.Ю.	3
ст.лаб		Судаков А.И.	3
гл.спец.		Покровская И.В.	3

2

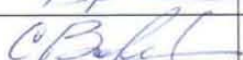
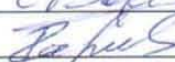
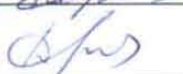
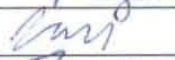
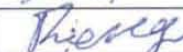
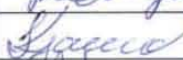
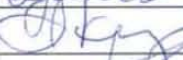
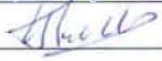
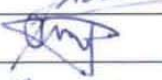
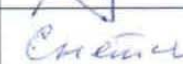
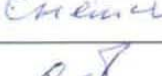
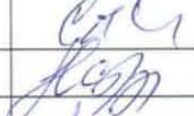
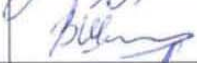
Сектор 555.1			
зав.сек., к.ф.м.н.		Арумов Г.П.	5
с.н.с., к.ф.м.н.		Бухарин А.В.	5
н.с.		Ляш А.Н.	5
вед.матем.		Тюрин А.В.	5

3

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ (ОТДЕЛ "КОСМОГЕОФИЗИКИ" (ОТДЕЛ 51) И ОТДЕЛ "ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА" (ОТДЕЛ 55)) ПО ТЕМЕ «МОНИТОРИНГ»

Должность, ученая степень, ученое звание	подпись	ФИО	Номера разделов отчета в работе, по которым принимал участие исполнитель
Зав. отд., д.ф.-м.н., профессор		Ерохин Н.С.	5
Лаборатории 511			
с.н.с., к.ф.м.н.		Гусев А.А.	5
с.н.с., д.ф.м.н..		Алтайский М.В.	5
с.н.с., к.ф.м.н.		Левина Г.В.	5
в.н.с., к.ф.м.н.		Чхетиани О.Г.	5
н.с., к.ф.м.н.		Зольникова Н.Н.	5
м.н.с., к.ф.м.н.		Михайловская Л.А.	5
Лаборатории 512			
Зав.лаб., д.ф.м.н		Артеха С.Н.	5
в.н.с., д.ф.м.н.		Онищенко О.Г.	5
в.н.с., д.ф.м.н.		Астафьева Н.М.	5
с.н.с., д.ф.м.н.		Шалимов С.Л.	5
в.н.с., д.ф.м.н.		Кудашев Е.Б.	5
вед.матем., к.ф.м.н.		Лазарев А.А.	5

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ
(ОТДЕЛ «ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ»)

Должность, ученое звание	Подпись	ФИО	Номера разделов отчета, в работе по которым принимал участие исполнитель
Г. н. с. д.т.н., профессор		Аванесов Г.А.	6
М.н.с.		Белинская Е.В.	6
Зав отделом, к.т.н.		Бессонов Р.В.	6
Н. с., к.т.н.		Брысин Н.Н.	6
С.н.с., к.т.н.		Воронков С.В.	6
Главный специалист		Гордеев Р.В.	6
Главный конструктор проекта		Дроздова Т.Ю.	6
Инженер		Дятлов С.А.	6
С.н.с., к.ф.-м..н.		Жуков Б.С.	6
Программист		Катасонов И.Ю.	6
С.н.с., к.ф.-м..н.		Кондратьева Т.В.	6
Ведущий инженер		Краснопевцева Е.Б.	6
Главный специалист		Крупин А.А	6
Главный конструктор проекта		Куделин М.И	6
Н.с.		Куркина А.Н.	6
Главный конструктор проекта		Муравьев В.М.	6
С.н.с., к.т.н.		Никитин А.В.	6
Главный конструктор проекта		Полянский И.В.	6
М.н.с.		Прохорова С.А.	6
Главный конструктор проекта		Савостьянов В.С.	6
М.н.с.		Сметанин П. С.	6
Ведущий программист		Снеткова Н.И	6
Ведущий программист		Собчук В.Г.	6
М.н.с.		Строилов Н.А.	6
Ведущий программист		Шамис В.А.	6
Вед.н.с. к.ф.-м.н.		Форш А. А.	6
М.н.с.		Эльяшев Я. Д.	6

РЕФЕРАТ

Отчет 192 с, 36 рис., 241 источник.

НАСТОЯЩИЙ ОТЧЕТ ПОСВЯЩЕН ОПИСАНИЮ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТ, ПОЛУЧЕННЫХ В 2016 ГОДУ В РАМКАХ ТЕМЫ "МОНИТОРИНГ" (№ 0028-2014-005), ВЫПОЛНЯЮЩЕЙСЯ В РАМКАХ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАДАНИЯ ИНСТИТУТОМ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. В ОТЧЕТЕ ПРИВОДЯТСЯ ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ, ЗАПЛАНИРОВАННЫХ НА 2016 ГОД ПО СЛЕДУЮЩИМ НАПРАВЛЕНИЯМ: "МОНИТОРИНГ-ТЕХНОЛОГИИ", "МОНИТОРИНГ-БИОСФЕРА", "МОНИТОРИНГ-КЛИМАТ", "МОНИТОРИНГА-ОКЕАН", "МОНИТОРИНГ-АТМОСФЕРА", "МОНИТОРИНГ-ЭФФЕКТ", "МОНИТОРИНГ-ИНФРАСТРУКТУРА".

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, СПУТНИКОВЫЕ ДАННЫЕ, ПРИБОРЫ, МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ, ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ, ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ, КЛИМАТА, БИОСФЕРЫ И ОКЕАНА, АРХИВЫ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ РАБОТЫ СО СВЕРХБОЛЬШИМИ АРХИВАМИ ДАННЫХ.

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ....2
РЕФЕРАТ....11
СОДЕРЖАНИЕ....12
ВВЕДЕНИЕ....17
РАЗДЕЛ 1 МОНИТОРИНГ-ТЕХНОЛОГИИ....20
Введение....20
1.1. Разработка новых методов и технологий полностью автоматизированной обработки спутниковых данных для решения задач контроля состояния и исследования окружающей среды, в том числе ориентированных на работу с данными действующих и перспективных российских спутниковых систем (пункт 4.1.1 плана работ на 2016 г.)....21
1.1.1. Разработка технологии работы с данными спутника Himawari-8 в информационных сервисах оперативного мониторинга....21
1.1.2 Разработка технологии работы с данными спутника Sentinel-1 в информационных системах дистанционного мониторинга....23
1.1.3 Разработка BI-инструментов для анализа работоспособности автоматизированных комплексов обработки данных....24
1.1.4 Организация системы автоматизированной оперативной оценки угроз и возможных ущербов, возникающих от природных пожаров....26
1.1.5 Повышение эффективности методов автоматизированной обработки спутниковых данных для оценки ледовой обстановки в районах рыболовного морского промысла....27
1.2 Разработка новых методов и технологий, обеспечивающих работу с распределенными сверхбольшими архивами данных, в том числе позволяющих создавать системы распределенной обработки и анализа данных, а также позволяющих проводить анализ временных серий спутниковых наблюдений различного пространственного разрешения для решения комплекса задач исследований и мониторинга поверхности и недр Земли, ее гидросферы, атмосферы и биосферы (пункт 4.1.3 плана работ на 2016 г.)....28
1.3 Разработка научных подходов к организации коллективной работы с данными глобальных спутниковых наблюдений (включая распределенные архивы и инструменты анализа данных) для решения фундаментальных задач в области наук о Земле (пункт 4.1.4 плана работ на 2016 г.)....35
1.3.1 Разработка инструментов построения различных гиперспектральных индексов в информационных системах дистанционного мониторинга Созвездие-Вега....35
1.3.2 BI-инструменты для анализа карт растительного покрова в информационных сервисах Созвездие Вега....37
1.3.3 Инструменты сервиса Вега-Science для уточнения карт растительного покрова с использованием спутниковой информации различного пространственного разрешения....38
1.3.4 Построение базовых элементов технологии работы с данными наблюдения Земли, получаемыми с МКС, в системах семейства «Созвездие-Вега»....40
1.3.5 Инструменты анализа рядов данных в системах семейства «Созвездие Вега».41
1.4 Обеспечение постоянной работы и развитие Центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа данных спутниковых наблюдений ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») (пункт 4.1.5 плана работ на 2016 г.)....43
Заключение....52
РАЗДЕЛ 2 МОНИТОРИНГ-БИОСФЕРА....54
Введение....54

2.1 Формирование на основе спутниковой информации баз данных характеристик состояния окружающей среды, в том числе растительного покрова**,** для изучения и мониторинга **наземных экосистем и биоразнообразия (пункт 4.2.1 плана работ на 2016 г.)** 55
2.1.1 Актуализация и развитие многолетней базы данных о типах растительного покрова России 55
2.1.2 Актуализация многолетней базы данных о природных пожарах и их последствиях 56
2.2 Разработка научных подходов к построению полностью автоматизированных методов дистанционной оценки характеристик растительных экосистем на больших территориях (пункт 4.2.2 плана работ на 2016 г.) 58
2.2.1 Разработка нового подхода к восстановлению временных рядов данных спутниковых наблюдений для решения задач мониторинга растительного покрова .58
2.2.2 Разработка метода топографической нормализации данных спутниковых наблюдений растительного покрова 59
2.3 Разработка новых подходов и методов оценки последствий негативных воздействий (природных и антропогенных) на наземные экосистемы (пункт 4.2.3 плана работ на 2016 г.) 60
2.3.1 Развитие и оценка точности методов дистанционной оценки пройденных огнем площадей на основе комплексирования спутниковых данных ДЗЗ различного пространственного разрешения 60
2.3.2 Метод выявления вырубок лесов на основе спутниковых данных высокого пространственного разрешения 63
2.4 Создание моделей прогноза динамики растительного покрова и развития природных пожаров с использованием информации, получаемой на основе данных спутниковых наблюдений (пункт 4.2.4 плана работ на 2016 г.) 64
2.4.1 Метод уточнения положения фронта горения на основе ассимиляции спутниковых данных в модель развития пожара 65
2.5 Оценка масштабов и исследование основных факторов динамики растительного покрова России с начала 21 века (пункт 4.2.5 плана работ на 2016 г.) 67
2.5.1 Оценка многолетней динамики покрытой лесом площади на основе анализа временных рядов карт растительного покрова 67
2.6 Создание на основе автоматизированных методов обработки данных спутниковых наблюдений Земли динамических карт агроценозов России (пункт 4.2.6 плана работ на 2016 г.) 70
2.6.1 Метод картографирования пахотных земель на основе спутниковых данных высокого пространственного разрешения 70
2.6.2 Исследование возможностей распознавания сельскохозяйственных культур на основе радиолокационных спутниковых данных 72
Заключение 76
РАЗДЕЛ 3 МОНИТОРИНГ-КЛИМАТ 78
Введение 78
3.1 Разработка научных основ и методов анализа глобальных спутниковых наблюдений для объективной оценки изменений окружающей среды и климата (пункт 4.3.1 плана работ на 2016 г.) 79
3.1.1 Разработка принципиально новой электродинамической модели радиоизлучения арктического ледяного покрова для изучения пространственно-временных характеристик северной полярной шапки по данным многочастотной микроволновой спутниковой радиометрии в контексте задач изучения изменчивости климатических параметров планеты 79

3.1.2 Развитие методов изучения проявления климатических тенденций в системе океан-атмосфера и в структуре радиотеплового поля Земли с использованием данных микроволнового спутникового мониторинга 81
3.1.2.1 Исследование полярного переноса скрытого тепла из тропической зоны в средние и высокие широты методами скоростного радиотепловидения 81
3.1.2.2 Подготовка и выпуск ТЗ на КЭ Конвергенция и на научную нагрузку для перспективного спутникового комплекса на МКС 85
3.2 Разработка научных подходов организации дистанционного мониторинга природных катастрофических явлений, риска их возникновения и их последствий (пункт 4.3.2 плана работ на 2016 г.) 85
3.2.1 Создание базы данных глобального тропического циклогенеза Global-TC за 2016 г. и базы данных за 1987–2015 гг. микроволновых комплексов по программе DMSP 85
3.2.2 Развитие методов формирования научной базы данных глобальных радиотепловых полей системы океан-атмосфера POLE-RT-Fields на основе многолетних данных дистанционного микроволнового зондирования по программам DMSP и Aqua 86
3.2.3 Разработка научных подходов и методов к организации мониторинга вулканической активности с помощью современных систем и технологий спутниковых наблюдений 86
Заключение 89
РАЗДЕЛ 4 МОНИТОРИНГ-ОКЕАН 91
Введение 91
4.1 Разработка методик микроволновых исследований нелинейной динамики морских волнений и экологического состояния водной среды с применением современных радиолокационных и скаттерометрических микроволновых комплексов (пункт 4.4.2 плана работ на 2016 г.) 92
4.1.1 Разработка и изготовление опытного образца усовершенствованной автоматической поворотной платформы «Траверс-2» с многочастотным радиотепловым комплексом. Подготовка и проведение комплексных испытаний платформы «Траверс-2» с дистанционным комплексом на морской платформе МГИ РАН в Чёрном море (октябрь 2016 г.). Исследования параметров спектра ветровых гравитационно-капиллярных волн методом нелинейной радиотепловой резонансной спектроскопии (HPPC) 92
4.2 Развитие методов научного прогноза изменения структурного состояния системы океан-атмосфера под воздействием природных факторов на основе современных и перспективных спутниковых активных микроволновых комплексов (пункт 4.4.3 плана работ на 2016 г.) 97
4.3 Разработка методов количественной оценки параметров состояния морской поверхности на больших акваториях и их эволюции на основе многолетних данных дистанционного зондирования из космоса (пункт 4.4.5 плана работ на 2016 г.) 99
4.4 Развитие методов научного прогноза изменения экологического состояния водной среды под воздействием природных и антропогенных факторов на основе современных спутниковых данных (пункт 4.4.6 плана работ на 2016 г.) 100
Заключение 102
РАЗДЕЛ 5 МОНИТОРИНГ-АТМОСФЕРА 103
Введение 103
5.1 Разработка научных основ и автоматизированных методов и технологий обработки временных серий спутниковых наблюдений различного пространственного разрешения для решения комплекса задач исследований и мониторинга атмосферы (пункт 4.5.1 плана работ на 2016 г.) 108
5.1.1 Многомасштабная теория турбулентности и вейвлет-представление 108

5.2 Развитие теоретических моделей, анализ физических механизмов, разработка и применение алгоритмов обработки натурных данных в целях мониторинга и прогноза состояний атмосферы, включая выявление закономерностей формирования и последующей динамики мощных вихревых структур в атмосфере Земли с учетом зональных ветров, фазовых переходов влаги (пункт 4.5.2 плана работ на 2016 г.) 109
5.2.1 О возможности измерения оптической толщины атмосферы Земли с ИСЗ 109
5.2.2 Расчеты на основе малопараметрической модели динамики крупномасштабного циклогенеза при быстрых вариациях фоновой обстановки 109
5.2.3 Диагностика зарождения тропических циклонов для нескольких сценариев: а) реализованных с помощью идеализированного облачно-разрешающего численного моделирования и б) реально наблюдавшихся в натурных условиях 110
5.2.4 Моделирование прохождения крупномасштабных ВГВ из тропосферы в ионосферу 111
5.2.5 Изучение механизмов генерации и эволюции вихревых дьяволов 112
5.2.6 Мезомасштабные структуры в пограничных (экмановских) слоях атмосферы, верхней атмосферы, жидкого ядра земли: условия генерации, транспортные свойства, влияние магнитных полей 113
5.3. Развитие методик анализа характеристик электрической турбулентности в грозовой облачности для выявления ее роли в динамике долгоживущих спиральных вихрей (пункт 4.5.3 плана работ на 2016 г.) 114
5.3.1 Плазменные вихри в атмосфере и их роль в генерации вихревых структур 114
5.3.2 Модель структурных функций электрической турбулентности атмосферы с учетом когерентных структур и перемежаемости 114
5.4. Разработка и применение алгоритмов обработки натурных данных, средств исследований состояний атмосферы, в том числе методик дистанционного определения характеристик облачности на основе измерений собственного ИК-излучения атмосферы и отраженной солнечной радиации (пункт 4.5.4 плана работ на 2016 г.) 115
5.4.1 Угловое распределение спектральной яркости в инфракрасном диапазоне спектра в области горизонта 115
5.5 Развитие методов определения микрофизических свойств рассеивающих сред, включая атмосферу, на основе использования двухпозиционных схем лидарного зондирования. Выбор комбинированной модуляции мощности диодного лазера в задаче создания составной зондирующей системы с оптимальным режимом калибровки (пункт 4.5.5 плана работ на 2016 г.) 117
5.5.1 Повышение эффективности высокодетального наблюдения Земли со спутников в условиях частичной облачности 118
5.6 Развитие теоретических моделей, анализ физических механизмов в целях разработки средств исследований гидросферы и атмосферы, в том числе для выявления долгопериодических вариаций и зависимости их от внешних факторов (пункт 4.5.6 плана работ на 2016 г.) 119
5.6.1 Линейные и нелинейные методы определения температуры морской поверхности 119
5.6.2 Анализ данных мониторинга ионизирующих излучений в атмосфере 120
5.6.3 Экспериментальных исследований и разработки теоретической модели статистических характеристик турбулентных пульсаций давления и турбулентных шумов на обтекаемой потоком поверхности 122
Заключение 123
РАЗДЕЛ 6 МОНИТОРИНГ-ЭФФЕКТ 124
Введение 124

6.1. Разработка предложений по созданию перспективных методов и систем спутниковых наблюдений Земли из Космоса (пункт 4.6.1 плана работ на 2016г.) ..124
6.1.1 Разработка методов и средств обеспечения сверхширокого захвата поверхности для систем оперативного мониторинга Земли из космоса высокого разрешения ..124
6.1.2 Исследование методов повышения эффективности дивергентного кодирования для успешного декодирования цифровых потоков в условиях большого уровня шума при передаче данных по спутниковым или космическим каналам ..126
6.2. Разработка методов и средств повышения качества калибровки и привязки данных российских приборов ДЗЗ (пункт 4.6.2 плана работ на 2016г.) ..127
6.2.1 Разработка методов и средств повышения качества калибровки и привязки данных приборов МСУ-100 и МСУ-50 (КА «Метеор-М» №1 и №2) ..127
6.2.2 Геопривязка данных ДЗЗ высокого разрешения с КА «Ресурс-П» ..129
Заключение ..131
РАЗДЕЛ 7 МОНИТОРИНГ-ИНФРАСТРУКТУРА ..132
Введение ..132
7.1. Проведение ежегодной конференций "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса" (пункт 4.7.1 плана работ на 2016 г.) ..133
7.2. Проведение ежегодной школы молодых ученых (пункт 4.7.2 плана работ на 2016 г.) ..134
7.2.1 Проведение Двенадцатой Всероссийской научной школы-конференции по фундаментальным проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса ..134
7.2.2 Проведение Седьмой международной Школы-семинара «Спутниковые методы и системы исследования Земли» ..134
7.3. Проведение конкурса работ молодых ученых, работающих в области дистанционного мониторинга Земли, природных и антропогенных процессов (пункт 4.7.3 плана работ на 2016 г.) ..134
7.4. Выпуск периодического научного издания (журнала) "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса" (пункт 4.7.4 плана работ на 2016 г.) ..135
Заключение ..135
РАЗДЕЛ 8 ОСНОВНЫЕ ДИСТИЖЕНИЯ ГОТОВЫЕ К СПОЛЬЗОВАНИЮ ..136
Введение ..136
8.1 Информационная система Вега-Приморье ..136
8.2 Прибор мБОКЗ-2 ..137
8.3 Прибор БОКЗ-М60 ..138
Рисунок 8.3 - Внешний вид блока выведения с приборами БОКЗ-М60 и установленным на нем МКА «Ломоносов» и «Аист-2Д» ..139
8.4 Технология точной геопривязки данных спутников серии "Ресурс-П" ..140
8.4. Комплекс многоспектральной съемки КМСС ..140
РАЗДЕЛ 9 ГРАНТЫ ПО НАПРАВЛЕНИЮ МОНИТОРИНГ ..142
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ..148
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ..150

ВВЕДЕНИЕ

В Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) в рамках государственного задания (Часть 2 Государственные работы) проводятся фундаментальные и прикладные исследования планеты Земля. Научно-исследовательские (НИР) и опытно-конструкторские работы (ОКР) проводятся в соответствие со следующими направлениями, указанными в Программе фундаментальных исследований государственных академий наук на 2013 - 2020 годы, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 03 декабря 2012 г., № 2237-р

п/п	Направление фундаментальных исследований	Номер направления в «Программе»
1	Научные основы разработки методов, технологий и средств исследования поверхности и недр Земли, атмосферы, включая ионосферу и магнитосферу Земли, гидросферы и криосферы; численное моделирование и геоинформатика: инфраструктура пространственных данных и ГИС-технологии.	80
2	Эволюция окружающей среды и климата под воздействием природных и антропогенных факторов, научные основы рационального природопользования и устойчивого развития; территориальная организация хозяйства и общества	79

Работы ведутся в рамках темы "Мониторинг" - Разработка методов и технологий спутникового мониторинга для научных исследований глобальных изменений и обеспечения безопасности (Гос. Регистрация № 01.20.0.2.00164), основные задачи которой определяются следующие приоритетными направлениями научных исследований: 5.27, 5.28, 6.17,6.20, 6.21, 6.23, 6.24, 6.26

Тема "Мониторинг" посвящена разработке научных основ, методов и технологий спутникового мониторинга для планеты Земля, а также исследованиям различных процессов, происходящих на нашей планете, с помощью современных методов дистанционного зондирования. В рамках темы проводятся исследования в следующих основных направлениях:

- **«Мониторинг-технологии»** – Разработка и совершенствование научных основ, методов, технологий и систем работы с данными дистанционных (спутниковых) наблюдений Земли для решения научных и прикладных задач.
- **«Мониторинг-биосфера»** Разработка и совершенствование научных основ и методов спутникового мониторинга наземных экосистем для научных исследований изменений биосферы, решения задач рационального природопользования и охраны окружающей среды. Исследование глобальных процессов, происходящих в биосфере.
- **«Мониторинг-климат»** Разработка и совершенствование научных основ использования данных дистанционного зондирования из космоса, для контроля изучения климатических процессов и опасных природных явлений.
- **«Мониторинг-океан»** Разработка и совершенствование научных основ использования данных дистанционного зондирования из космоса для контроля экологического состояния системы океан-атмосфера и оценки параметров опасных природных и антропогенных явлений.

- **«Мониторинг-Атмосфера»** Разработка научных основ для создания методов, технологий и средств исследования атмосферы, включая ионосферу и магнитосферу Земли, гидросферы; численное моделирование.
- **«Мониторинг-Эффект»** Разработка научных основ повышения качества данных и систем спутниковых наблюдений.
- **«Мониторинг-Инфраструктура»** Проведение научных мероприятий и издательская деятельность

Настоящий отчет посвящен описанию основных результатов работ, полученных в рамках данных направлений в 2016 году, которые выполнялись в соответствие с планом научных работ ИКИ РАН. Результаты, полученные по каждому из этих направлений, представлены в соответствующих разделах настоящего отчета.

РАЗДЕЛ 1 МОНИТОРИНГ-ТЕХНОЛОГИИ

Введение

Раздел 1 ("Мониторинг-технологии") темы "Мониторинг" посвящен вопросам, связанным с разработкой и совершенствованием научных основ, методов, технологий и систем работы с данными дистанционных (спутниковых) наблюдений Земли для решения научных и прикладных задач.

В настоящей главе отчета представлены основные результаты работ, полученные по следующим разделам плана работ ИКИ РАН на 2016 год:

- Разработка новых методов и технологий полностью автоматизированной обработки спутниковых данных для решения задач контроля состояния и исследования окружающей среды, в том числе ориентированных на работу с данными действующих и перспективных российских спутниковых систем.
- Разработка новых методов и технологий, обеспечивающих работу с распределенными сверхбольшими архивами данных, в том числе позволяющих создавать системы распределенной обработки и анализа данных, а также позволяющих проводить анализ временных серий спутниковых наблюдений различного пространственного разрешения для решения комплекса задач исследований и мониторинга поверхности и недр Земли, ее гидросферы, атмосферы и биосферы.
- Разработка научных подходов к организации коллективной работы с данными глобальных спутниковых наблюдений (включая распределенные архивы и инструменты анализа данных) для решения фундаментальных задач в области наук о Земле.
- Обеспечение постоянной работы и развитие Центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа данных спутниковых наблюдений ИКИ РАН для решения задач изучения и

мониторинга окружающей среды (ЦКП «ИКИ-Мониторинг»). В том числе:

- ведение и развитие долговременных архивов данных спутниковых измерений физических характеристик окружающей среды для ее изучения и прогноза развития в условиях быстрых природных и антропогенных наблюдений
- поддержка и развитие специализированных спутниковых сервисов, ориентированных на решение различных научных задач, в том числе:
    - Вега-Sience (ориентирован на решение задач мониторинга растительности на территории Северной Евразии);
    - See The Sea (ориентирован на решение задач исследования процессов, происходящих на морской поверхности и привозном слое),
    - VolSatView (ориентирован на решение задач изучения и мониторинга вулканов Камчатки и Курил")

Основные результаты, полученные в рамках данных работ, описаны в соответствующих параграфах настоящей главы. Подробно полученные в данном направлении результаты изложены в следующих научных публикациях [4, 23-31, 33, 36, 70, 71, 73, 75, 78-81, 102, 106-109, 112-128, 130, 131, 138, 140-143, 145, 152, 157, 158, 161, 240, 241]

1.1. Разработка новых методов и технологий полностью автоматизированной обработки спутниковых данных для решения задач контроля состояния и исследования окружающей среды, в том числе ориентированных на работу с данными действующих и перспективных российских спутниковых систем (пункт 4.1.1 плана работ на 2016 г.)

1.1.1. Разработка технологии работы с данными спутника Himawari-8 в информационных сервисах оперативного мониторинга

Космический аппарат Himawari-8 с сенсором AHI, введённый JMA в штатную эксплуатацию 07.07.2015 в точке стояния 140.7 ВД, предоставляет

большой диапазон возможностей по оперативному мониторингу окружающей среды и чрезвычайных явлений. Этому способствуют как широкий набор спектральных каналов сенсора, так и его высокое для геостационарных КА пространственное разрешение (до 500 м. в каналах видимого диапазона и до 2000 м. в каналах ИК-диапазона) и большая частота наблюдений – полный диск раз в десять минут.

В 2016 году ИКИ РАН совместно с ДЦ ФГБУ «НИЦ «Планета» разработал технологию, обеспечивающую интеграцию данных прибора AHI и различных информационных продуктов, получаемых на их основе, в информационные системы дистанционного мониторинга. Данная технология обеспечивает автоматическое получение данных, их фрагментацию по зоне интереса, предварительную и тематическую обработку, архивацию и предоставление пользователям информационных систем возможности работы с ними через специализированные картографические веб-интерфейсы. Особо следует отметить, что пользователям предоставляются не только базовые и тематические информационные продукты, получаемые на основе данных AHI, но и обширный инструментарий проведения онлайн-анализа и обработки временных рядов данных Himawari-8, в том числе инструменты для построения и анализа временных рядов данных (см. рисунок 1.1.1).

В настоящее время разработанная технология введена в эксплуатацию и активно используется в ряде действующих систем оперативного мониторинга, в том числе в объединённой системе работы с данными ФГБУ «НИЦ «Планета» (система, развиваемая в интересах Росгидромета), системах «Вега-Приморье» (система комплексного мониторинга лесов Приморского края), VolSatView (система мониторинга вулканической активности Камчатки и Курилл) и ИСДМ-Рослесхоз (система мониторинга лесных пожаров).

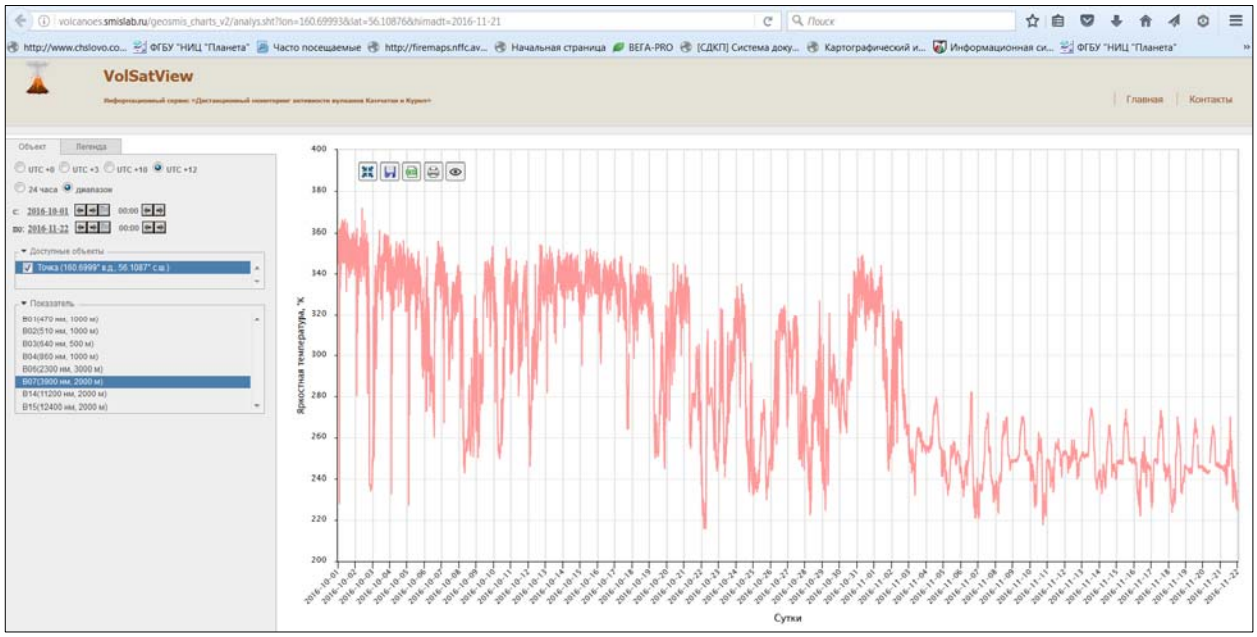


Рисунок 1.1.1 - Пример, интерфейса для анализа временных рядов данных спутника Himawari-8. Окончание извержения Ключевской (первая декада ноября 2016 года)

1.1.2 Разработка технологии работы с данными спутника Sentinel-1 в информационных системах дистанционного мониторинга

Начало достаточно устойчивой работы сервисов ESA, обеспечивающих возможность свободного оперативного получения данных спутников серии Sentinel-1 (спутники Sentinel-1A и Sentinel-1B), открывает новые перспективы использования радарных данных для мониторинга и изучения различных объектов и явлений. Это объясняется в первую очередь тем, что фактически впервые радарные данные появились в большом объеме в свободном доступе. Для обеспечения возможности работы с этими данными в различных системах дистанционного мониторинга в ИКИ РАН была разработана специализированная технология, позволяющая автоматически получать информацию, предоставляемую центром ESA, проводить их калибровку и коррекцию, помещать в архивы центра коллективного пользования "ИКИ Мониторинг", формировать реальные и виртуальные информационные продукты и предоставлять возможность доступа к ним

различным информационным системам дистанционного мониторинга. На рисунке 1.1.2 приведен пример возможности построения различных виртуальных продуктов на основе данных Sentinel-1.

В настоящее время разработанная технология позволила создать инструменты работы в различных информационных системах, развиваемых и поддерживаемых ИКИ РАН, в том числе: системе Вега-Science (система, обеспечивающая использование возможностей ЦКП "ИКИ-Мониторинг" распределенными научными коллективами), объединённая система работы с данными ФГБУ «НИЦ «Планета» (система, развиваемая в интересах Росгидромета), системе SeeTheSea (система мониторинга и оценки состояния пограничных морей России), система VolSatView (система мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил).

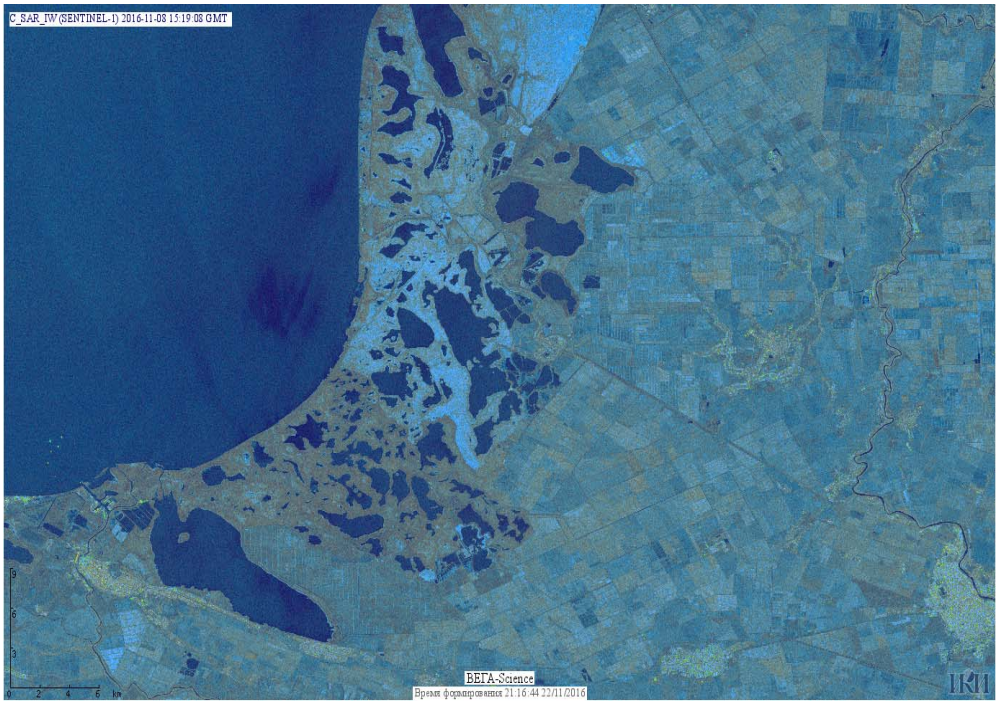


Рисунок 1.1.2 - Оптико-радарный композит (индекс), сформированный в системе Вега-Science (виртуальный продукт)

1.1.3 Разработка BI-инструментов для анализа работоспособности автоматизированных комплексов обработки данных

В условиях современного многообразия систем ДЗЗ, увеличивающейся области применения данных спутникового мониторинга, роста количества потенциальных потребителей этих данных и тематических продуктов на их основе, возникает необходимость расширения возможностей систем сбора, обработки и хранения спутниковой информации. Рост объемов информации, поступающей в различные системы мониторинга, приводит к тому, что все процессы усвоения поступающей информации и ее обработка должны быть максимально автоматизированы. При этом в процессах автоматизированной обработки данных может участвовать значительное число вычислительных комплексов, на которых может выполняться большое число различных процедур обработки. Организация автоматизированного управления и контроля такими процессами является сегодня достаточно актуальной задачей, решением которой занимаются различные коллективы, поддерживающие крупные центры приема (сбора) и обработки спутниковых данных.

Так, например, действующие в ИКИ РАН блоки автоматического контроля работоспособности позволяют автоматически собирать информацию о каждом процессе, участвующем в обработке данных, фиксировать ее в базах данных, тем самым формируют обширную статистику о ходе этапов автоматической обработки. За сутки в базы данных заносится информация о тысячах процессов. Следует отметить, что без специальных механизмов анализа, оператор, осуществляющий поддержку подобных систем, не в состоянии эффективно выявлять и устранять неполадки, чтобы обеспечивать работоспособность системы в реальном времени. Поэтому для выполнения подобного анализа необходимы инструменты, которые позволяют представить информацию в удобном для оценивания критических параметров виде, например, в графической, табличной или пространственной форме. Одними из наиболее быстро развивающихся в этом направлении технологий создания подобных

инструментов являются BI-технологии (Business intelligence), основанные на построении хранилищ структурированной информации на основе OLAP-структур (online analytical processing) (Палкин и др., 2013).

В 2016 году в ИКИ РАН на основе BI-технологии был создан специальный инструментарий, ориентированный на анализ работоспособности автоматизированных комплексов обработки данных. Для создания инструмента использованы технологии автоматизированной обработки спутниковых данных, разработанные в ИКИ РАН в последние годы. В настоящее время созданный инструментарий внедрен и используется в различных системах автоматизированной обработки спутниковых данных, разрабатываемых и поддерживаемых ИКИ РАН в том числе в ЦКП "ИКИ Мониторинг".

1.1.4 Организация системы автоматизированной оперативной оценки угроз и возможных ущербов, возникающих от природных пожаров

Природные пожары являются одним из стихийных бедствий, способных нанести существенный ущерб не только лесным, но и материальным ресурсам промышленных объектов и населенных пунктов. При этом для проведения работ по ликвидации пожаров необходимы не только оперативная информация по обнаруженным очагам возгорания, но и комплексные сведения о погодных условиях, природных условиях – наличии рек, водоемов, особенности рельефа местности в зоне пожара. Кроме этого, для оценки целесообразности проведения работ по тушению необходимо иметь не только оценку возможности угроз, но и оценку возможных ущербов, к которым может привести распространение горения.

Для осуществления комплексного мониторинга угроз от природных пожаров, их оперативного выявления и оценки в ИКИ РАН была разработана специальная технология. Основой данной технологии является моделирование процесса распространения пожаров. В созданной технологии

используется адаптированная для применения в Российских условиях и на доступных спутниковых, метеорологических и других данных модель распространения пожаров на основе канадской системы CFFBPS (Canadian Forest Fire Behavior Prediction System).

Данная технология дает возможность создавать системы, позволяющие не только автоматически выявлять угрозы и получать оценки вероятностей наступления ЧС на объектах мониторинга, но и производить оценку возможных ущербов, а также необходимых ресурсов для проведения тушения пожаров.

В настоящее время созданная технология проходит апробацию в системе «Вега-Приморье» (система комплексного мониторинга лесов Приморского края).

1.1.5 Повышение эффективности методов автоматизированной обработки спутниковых данных для оценки ледовой обстановки в районах рыболовного морского промысла

Оперативная оценка ледовой обстановки является очень важной задачей для обеспечения эффективности рыболовного промысла. Для России решение данной задачи является особенно актуальным для акватории Охотского моря. Это связано с тем, что Охотском море является самым продуктивным морем России. А обширная площадь ледового покрытия и достаточно длительный период промысла в ледовых условиях, когда производится вылов основного объема водных биологических ресурсов – минтаевая путина, требуют информации о состоянии ледового покрова.

В 2016 в ИКИ РАН был реализован и прошел апробацию метод полностью автоматической обработки спутниковых данных и представления получаемых результатов о ледовой обстановке в Отраслевую систему мониторинга водных биологических ресурсов, наблюдения и контроля за деятельностью промысловых судов (ОСМ Росрыболовства). Пример

представления данной информации в картографическом интерфейсе ОСМ Росрыболовства приведен на рисунке 1.1.5

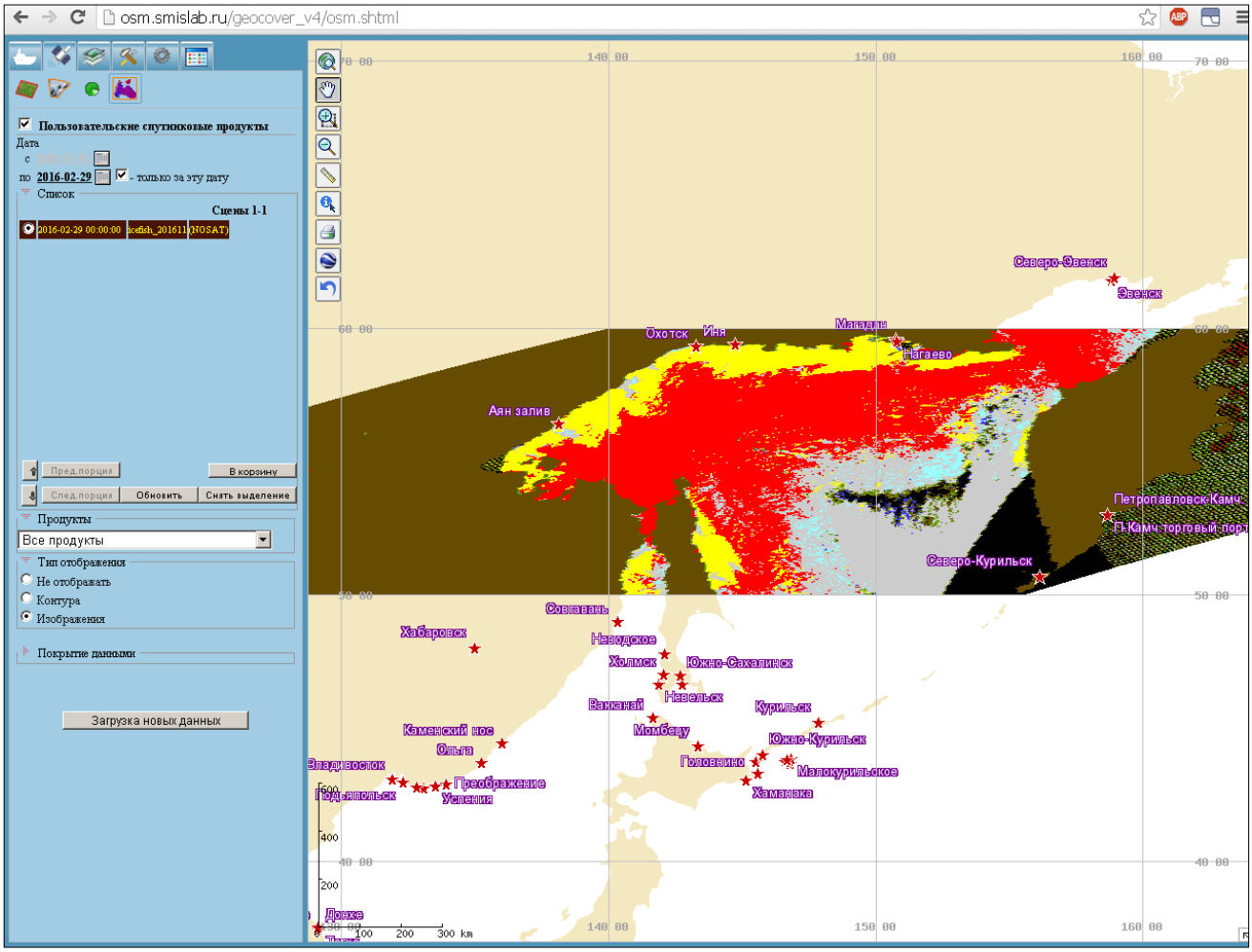


Рисунок 1.1.5 - Пример представления информации о ледовой обстановке в картографическом интерфейсе ОСМ-Росрыболовства.

1.2 Разработка новых методов и технологий, обеспечивающих работу с распределенными сверхбольшими архивами данных, в том числе позволяющих создавать системы распределенной обработки и анализа данных, а также позволяющих проводить анализ временных серий спутниковых наблюдений различного пространственного разрешения для решения комплекса задач исследований и мониторинга поверхности и недр Земли, ее гидросферы, атмосферы и биосферы (пункт 4.1.3 плана работ на 2016 г.)

Создание унифицированной системы ведения архивов спутниковых данных, предназначенной для построения современных систем дистанционного мониторинга.

Одним из основных требований к современным системам ведения архивов спутниковых данных является поддержка работы с широким спектром различных данных, получаемых разными космическими аппаратами с помощью большого числа приборов наблюдения Земли, имеющих различные характеристики, разрешение и схемы функционирования. И хотя системы доступа к данным конкретных спутниковых систем по-прежнему востребованы, пользователям гораздо удобнее получать доступ к интересующим их данным разных спутников в рамках единого ресурса. Это приводит к необходимости построения унифицированных систем ведения архивов спутниковых данных, которые бы позволяли максимально однотипно работать с достаточно разнородной информацией. С возрастанием числа действующих спутниковых систем и объемов получаемых с них данных еще большую актуальность приобретает задача организации сверхбольших архивов спутниковых данных. Развитие в последние десятилетия информационных технологий и сетевой инфраструктуры позволило на новом уровне организовать доступ к распределенным архивам спутниковых данных. В результате для пользователя уже не имеет большого значения, где именно физически располагаются те или иные спутниковые данные.

За последние годы радикально поменялись и требования по обеспечению доступа к информации. Если раньше потребители спутниковых данных зачастую довольствовались получением исходных данных, на основе которых они могли сами получать требуемые им информационные продукты, то в настоящее время их все больше интересуют возможности работы с готовыми информационными продуктами. При этом информационные продукты могут представлять собой как изображения, соответствующие

исходным каналам спутниковых приборов, так и любые тематические продукты, получаемые на основе их обработки, включая различные цветосинтезированные изображения, вычисляемые по ним индексы и маски, а также композитные изображения, полученные на основе объединения данных по заданному множеству спутниковых сеансов.

Так как спутниковые данные зачастую имеют очень большой объем, то хранение всех возможных информационных продуктов, которые могут быть получены на основе одних и тех же исходных данных, становится нецелесообразным. Это приводит к необходимости организации доступа пользователей к информационным продуктам, получаемым непосредственно по запросу пользователя. Традиционным способом предоставления доступа к таким продуктам является заказ на обработку выбранных исходных данных. Однако с развитием информационных технологий и аппаратного обеспечения все более актуальным становится предоставление доступа пользователям к «виртуальным» продуктам, т.е. продуктам, которые динамически формируются на основе исходных данных в режиме реального времени. В этом варианте пользователи могут получить доступ к интересующим их информационным продуктам таким же образом, как если бы они уже находились в архиве.

Наиболее интересным направлением развития современных систем доступа к спутниковым данным является поддержка сложных инструментов для работы со спутниковыми данными и их анализа, которые ранее были доступны только в настольных приложениях.

Наряду с развитием универсальных систем доступа к спутниковым данным особую актуальность в наше время приобретают специализированные системы, предназначенные для решения задач в той или иной научной или прикладной области. Это связано с тем, что для решения разных задач зачастую требуются отличающиеся наборы данных и инструменты для работы с ними. При этом, естественно, нет никакой необходимости для каждой из таких систем разворачивать отдельные

архивы. Гораздо более продуктивным является использование данных из одних и тех же архивов в большом числе различных специализированных систем доступа к спутниковым данным. Естественно, что для реализации такого подхода системы ведения архивов спутниковых данных должны поддерживать необходимый для этого набор сервисов для работы с данными.

Развитие в последние годы информационных систем доступа к спутниковым данным в направлении предоставления пользователям все более сложных инструментов для работы с ними, потребовало значительной доработки и усложнения используемых нами систем ведения архивов. Прежде всего, это касается реализации механизма доступа к «виртуальным» продуктам и поддержки работы инструментов для анализа данных и обработки их в режиме «реального времени». При этом многие новые возможности по организации доступа к данным оказались востребованы для различных типов спутниковых данных, а отдельная их поддержка для каждой из специализированных систем ведения архивов оказалась достаточно трудоемкой. Поэтому возникла необходимость унификации решения задач по архивации различных типов спутниковых данных и предоставления к ним доступа и разработки новой унифицированной системы ведения архивов спутниковых данных. Для того чтобы это стало возможным, была проведена разработка такой системы ведения архивов, которая позволила бы эффективно работать с различными типами спутниковых данных. Кроме этого потребовалась унификация механизмов ведения справочной информации о спутниках, приборах, станциях приема и реализованных информационных продуктах. Вместо использования разрозненных конфигурационных файлов, информация в которых часто была неполной и даже дублировалась, было решено реализовать единую базу данных, содержащую всю необходимую справочную информацию по всем имеющимся у нас типам спутниковых данных, включая информацию о «виртуальных» продуктах и правилах их построения. Такие работы были выполнены в ИКИ РАН в 2016 году

Для внедрения новой унифицированной системы ведения архивов было разработано специальное программное обеспечение, предназначенное для миграции метаданных из существовавших ранее архивов спутниковых данных в архивы, построенные по новой схеме, без необходимости дублирования самих файлов спутниковых данных. Для обеспечения возможности отладки такие инструменты должны также позволять одновременное ведение существовавших архивов и новых архивов.

Созданная унифицированная система ведения архивов спутниковых данных удовлетворяет следующим основным требованиям:

1. Использование унифицированной структуры БД для хранения спутниковых данных позволяет без существенного проигрыша в производительности обеспечить работу с имеющимися разнородными архивами спутниковых данных.
2. Использование единой справочной БД, содержащей всю необходимую информацию о станциях приема, спутниках, приборах, продуктах, включая «виртуальные» продукты и правила их построения.
3. Предоставление доступа к спутниковым данным различных типов осуществляется на основе унифицированного программного обеспечения.
4. Обеспечена поддержка единого для всех типов спутниковых данных механизма предоставления доступа к «виртуальным» продуктам, позволяющего гибко задавать правила получения новых информационных продуктов на основе имеющихся в архиве данных.
5. Обеспечена поддержка сервисов предоставления расширенных метаданных, необходимых для работы инструментов анализа данных и проведения обработки данных в режиме «реального времени».
6. Проведена максимальная унификация программного обеспечения, предназначенного для архивации спутниковых данных и ведения

распределенных архивов, при сохранении совместимости с существующими форматами поступления данных в архивы.

Реализация унифицированной системы ведения архивов спутниковых данных (UNISAT) базируется на использовании технологий и программного обеспечения, которые были разработаны в ИКИ РАН в течение последних 15 лет.

Общая архитектура системы ведения архивов UNISAT приведена на рисунке 1.2. В левой части схемы изображены программные компоненты, отвечающие за архивацию спутниковых данных и обмен данными с другими информационными центрами. В средней части схемы приведена справочная БД unisat_catalog, БД unisat, содержащая метаданные имеющихся в архиве данных, и связанное с ней файловое хранилище, в котором непосредственно находятся файлы спутниковых данных. В правой части схемы изображены основные сервисы, предназначенные для обеспечения доступа к данным в архиве. На схеме пунктирными стрелками показаны запросы на получение данных или метаданных, сплошными стрелками – метаданные, а полыми стрелками – данные. Внешние компоненты, непосредственно не входящие в состав системы ведения архивов, показаны пунктирными фигурами.

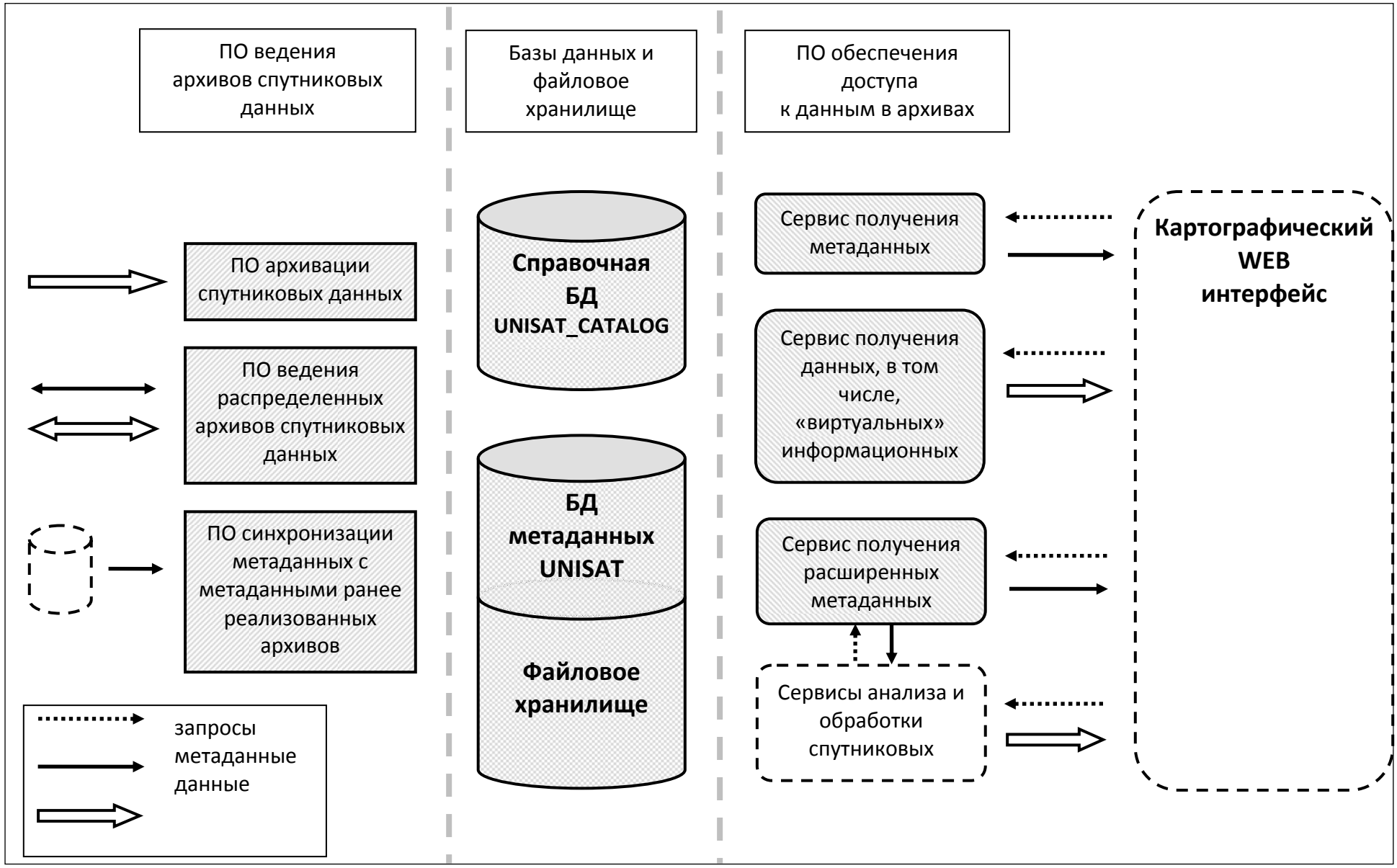


Рисунок 1.2. - Общая архитектура системы ведения архивов UNISAT

В настоящее время новая унифицированная система ведения архивов спутниковых данных внедрена и успешно используется в ряде специализированных систем дистанционного мониторинга Земли, предназначенных для решения различных научных и прикладных задач. Наиболее значимыми из них являются: информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства ИСДМ-Рослесхоз (http://www.pushkino.aviales.ru), различные информационные системы семейства ВЕГА (http://szv-vega.ru/systems.shtml), информационная система «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» VolSatView (http://volcanoes.smislab.ru/), объединенный каталог данных региональных центров ФГБУ «НИЦ «Планета» и спутниковый сервис See The Sea (STS, http://ocean.smislab.ru/). На базе использования новой системы ведения архивов спутниковых данных в настоящее время функционирует также «Центр коллективного пользования» ИКИ РАН, предназначенный для обеспечения доступа специалистов, ведущих различные научные и исследовательские проекты, к архивам спутниковых данных и информации, получаемой на их основе, а также к инструментам для их обработки и анализа.

1.3 Разработка научных подходов к организации коллективной работы с данными глобальных спутниковых наблюдений (включая распределенные архивы и инструменты анализа данных) для решения фундаментальных задач в области наук о Земле (пункт 4.1.4 плана работ на 2016 г.)

1.3.1 Разработка инструментов построения различных гиперспектральных индексов в информационных системах дистанционного мониторинга Созвездие-Вега

В настоящее время данные дистанционного зондирования Земли из космоса широко применяются для исследования растительного покрова и других природных объектов. Наличие гиперспектральных данных (ГСД),

обладающих детальной информацией, позволяют наиболее точно выявлять и оценивать характеристики земной поверхности. Одним из существующих аналитических инструментов для работы с ГСД является расчет гиперспектрального индекса (ГСИ). Однако сервисы, позволяющие удобно считать и визуализировать индексы на основе ГСД, практически отсутствуют. Для решения данной задачи в 2016 году ИКИ РАН совместно с ИРЭ РАН был разработан специализированный функционал, обеспечивающий возможность работы с различными спектральными индексами, получаемыми на мультиспектральных и гиперспектральных данных в системах дистанционного мониторинга семейства Созвездие-ВЕГА (http://sozvezdie-vega.ru/), создаваемых и поддерживаемых в ИКИ РАН. Пример интерфейса для работы с данными ГСИ приведен на рисунке 1.3.1.

При создании инструмента для групп исследуемых природных явлений были реализованы свои наборы ГСИ. Также был создан инструментарий, позволяющий хранить, добавлять, редактировать и искать индексы с фильтрацией по области применения. По результатам расчета ГСИ строится растровое изображение, соответствующее значению индекса в каждом пикселе. Помимо использования существующих ГСИ, реализована возможность ввода нового индекса путем задания непосредственно в интерфейсе формулы и дальнейшего ее сохранения в базу данных. Имеющиеся индексы могут быть применены к любым ГСД, доступным в картографическом web-интерфейсе семейства систем Созвездие-ВЕГА. В качестве основных объектов исследования были выбраны лесная и сельскохозяйственная растительности, почвы, пожары, атмосфера. Наборы ГСИ реализованы для данных прибора HYPERION, установленного на спутнике EO-1 и прибора ГСА, установленного на спутниках серии Ресурс П. Следует отметить, что созданный функционал позволяет работать не только с ГСД, но также с любыми спектральными данными, доступными в системах дистанционного мониторинга. Таким образом, в картографическом web-

интерфейсе систем Созвездие-ВЕГА возможны создание и расчет спектральных индексов для любых спутниковых данных.

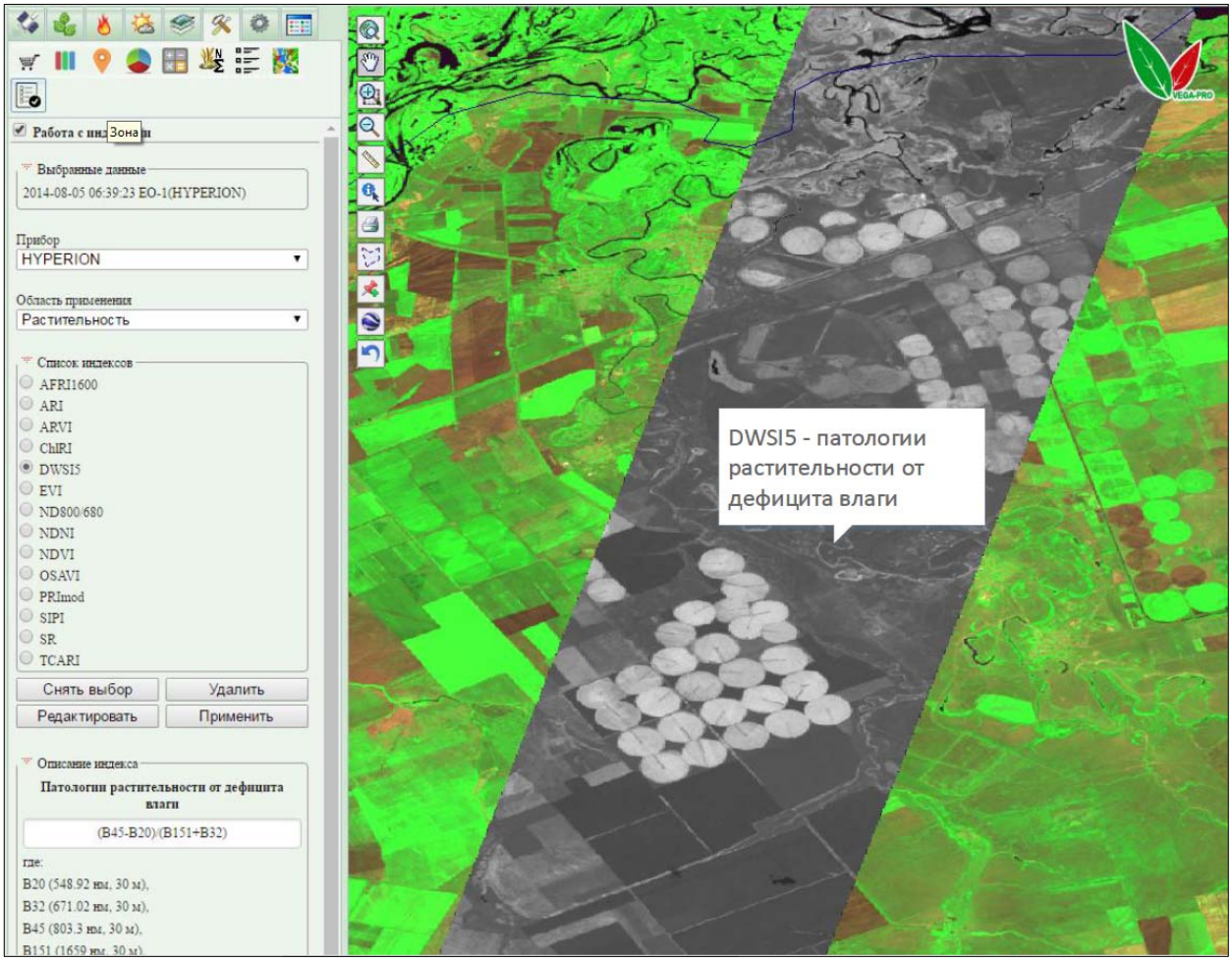


Рисунок 1.3.1 - Пример интерфейса работы с ГСИ, реализованного в системе Вега-Science

1.3.2 BI-инструменты для анализа карт растительного покрова в информационных сервисах Созвездие Вега

В настоящее время данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) все шире используются для количественной оценки информации о различных объектах и территориях. Примерами такой информации являются, например, ряды ежегодно обновляющихся карт растительного покрова, пахотных земель, земель, занятых различными видами посевов.

При этом во многих случаях данная информация может быть достаточно хорошо структурированной и на основе нее можно анализировать как пространственную, так и временную динамику различных объектов и явлений. Для проведения такого изучения необходимы инструменты, которые позволяют представить информацию в удобном для анализа виде, например, в графической, табличной или пространственной форме, а также осуществлять удобный выбор различных параметров. Одними из наиболее быстро развивающихся в этом направлении технологий создания подобных инструментов являются BI-технологии (Business intelligence), основанные на построение хранилищ структурированной информации на основе OLAP-структур (online analytical processing).

В 2016 году в ИКИ РАН на основе BI-технологий развивались специальные инструменты для анализа информации о состоянии растительного покрова, получаемой на основе карт, созданных с использованием данных спутниковых наблюдений. Созданные инструменты позволяют пользователям проводить динамический анализ ежегодно обновляющейся информации о растительном покрове на территории Российской Федерации. В настоящее время инструменты интегрированы в систему ВЕГА-Science (http://sci-vega.ru/), работающую в составе Центра коллективного пользования "ИКИ-Мониторинг", одной из основных задач которой являются дистанционные исследования и мониторинг растительного покрова.

1.3.3 Инструменты сервиса Вега-Science для уточнения карт растительного покрова с использованием спутниковой информации различного пространственного разрешения

ЦКП "ИКИ-Мониторинг" в настоящее время предоставляет исследователям возможности работы с данными спутниковых систем различного разрешения. Также в системе имеются различные тематические карты, построенные на основе спутниковых данных среднего разрешения по

достаточно большим территориям. К таким картам, например, относятся: ежегодные обновляемые карты растительности России и древесных пород, маски сельскохозяйственных культур, карты усыханий леса и т.д. Эти продукты получены на основании данных установленного на спутниках Terra и Aqua прибора MODIS (250 м). В настоящее время активно ведутся работы по созданию подобных карт на основе данных со спутника PROBA-V (100 м).

Для обеспечения возможности получения более детальных карт с использованием данных высокого разрешения, например, по LANDSAT или SENTINEL-2A, в системе был создан интерактивный инструмент построения локальных карт. Он реализован на базе имеющегося инструмента, использующегося для работы с данными ЦКП "ИКИ-Мониторинг" системы Вега-Science. Основой для него стал блок классификации данных. Разработанный инструмент обеспечивает автоматическое построение обучающих выборок с использованием имеющихся в системе тематических карт, проведение классификации с использованием данных различного пространственного разрешения (в том числе и временных серий данных), а также проведение анализа полученных карт. Пример построения обучающей выборки по картам растительности, имеющимся в Вега-Science, приведен на рисунке 1.3.3

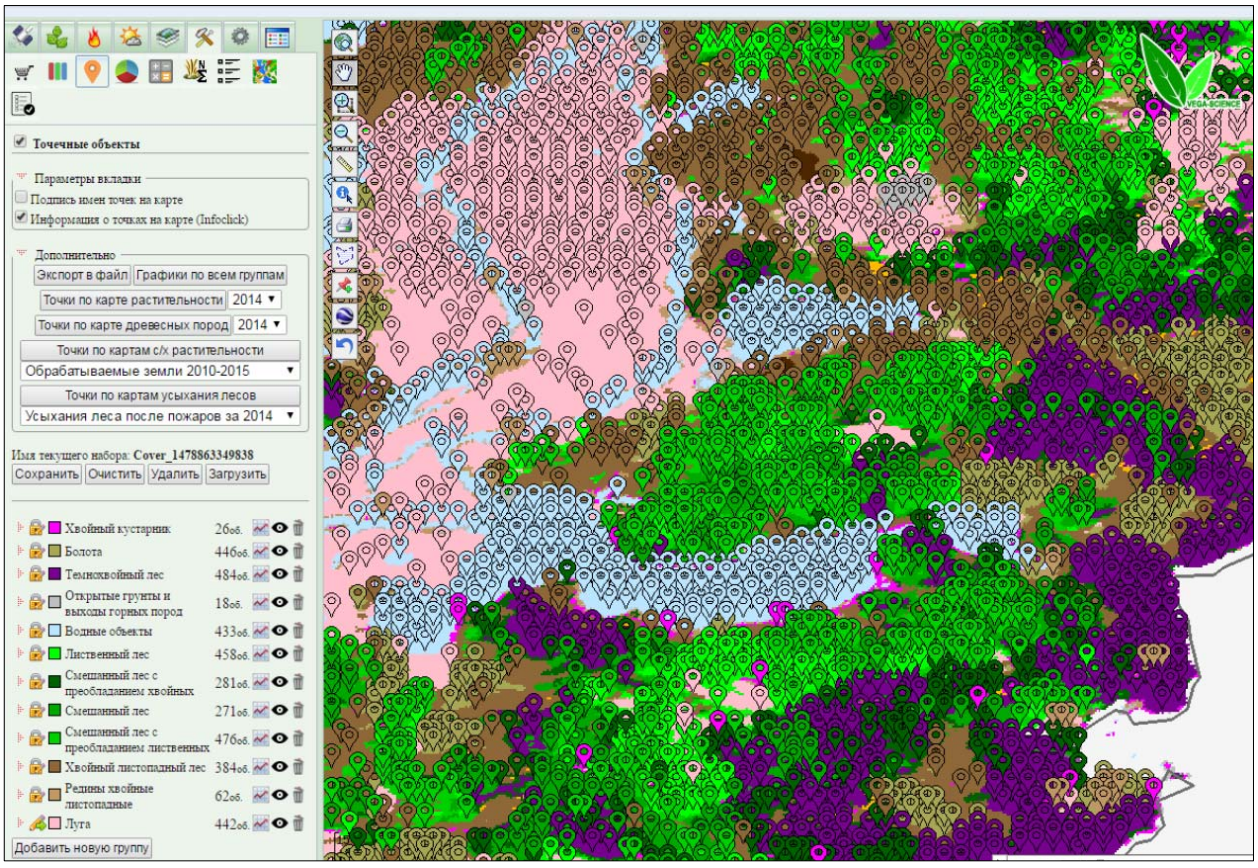


Рисунок 1.3.3 - Пример построения обучающей выборки по картам растительности, имеющимся в Вега-Science

1.3.4 Построение базовых элементов технологии работы с данными наблюдения Земли, получаемыми с МКС, в системах семейства «Созвездие-Вега»

На протяжении последних лет на борту Международной космической станции (МКС) активно проводится ряд научных космических экспериментов (КЭ), направленных на наблюдение Земли. Одним из таких экспериментов является программа «Ураган», направленная на отработку аппаратуры и методов исследования Земли и изучение катастрофических явлений на земной поверхности и в атмосфере.

Данные КЭ «Ураган» могут эффективно применяться для анализа и изучения природных и антропогенных явлений и объектов при условии их доступности и возможности использования в различных научных проектах, в

том числе для проведения совместного анализа с информацией, поступающей от других систем дистанционного наблюдения Земли.

Для обеспечения возможности использования данных получаемых наблюдения Земли получаемых при проведение КЭ на борту МКС (в том числе КЭ «Ураган») ИКИ РАН совместно со специалистами ИГ РАН и РКК «Энергия» были разработаны базовые элементы, позволяющие интегрировать информацию, получаемую в рамках данных КЭ «Ураган» в научные информационные системы (ИС) дистанционного мониторинга Земли семейства «Созвездие Вега». Были разработаны: система автоматизированного усвоения данных, система ведения архивов данных и система представления данных в интерфейсах, использующихся в ИС «Созвездие Вега». Выполненные работы позволяют организовать доступ к данным КЭ «Ураган» для различных исследовательских групп и предоставить специалистам удобный инструментарий для работы с данными и их совместного анализа с информацией отечественных и зарубежных систем наблюдения Земли. Выполненные работы позволят в дальнейшем создать технологию автоматизированной интеграции данных, поступающих с МКС, в различные информационные системы, используемые научными проектами, направленными на мониторинг и исследование природных и антропогенных процессов и объектов.

1.3.5 Инструменты анализа рядов данных в системах семейства «Созвездие Вега»

В настоящее время в рамках "ИКИ-Мониторинг" поддерживается уникальный сверхбольшой архив спутниковых, наземных и производных данных (более 1 ПБ в непосредственном доступе). Информация данного архива доступна сегодня различным научным информационным системам семейства «Созвездие Вега». Совокупность изображений, полученных множеством спутниковых систем в различных участках спектра в течение

длительного промежутка времени в планетарном масштабе, а также архив метеорологических данных, представляют собой многомерный массив данных, анализ которых подразумевает построение выборок по тому или иному принципу в зависимости от поставленной задачи. Одним из инструментов такого рода является система анализа пространственных, спектральных и временных рядов данных, которая была создана в ИКИ РАН.

Система позволяет анализировать следующие виды рядов данных:

- временные ряды, в том числе, динамику спектральных характеристик, вегетационных индексов, метеорологических показателей, а также производных величин;
- спектральные характеристики поверхности в выбранных точках на заданном изображении;
- вертикальные профили изменения метеорологических показателей с высотой;
- пространственные разрезы спектральных и метеорологических данных.

Следует отметить, что в системах реализуется анализ временных рядов наблюдений, выполненных как в отдельных точках, так и интегрированных на различные объекты (полигоны). Это позволяет, например, анализировать состояние сельскохозяйственных угодий (полей), участков повреждения леса, земель, занятых различными типами растительности, на территории различных административных единиц (районов, субъектов РФ), и т.д.

При решении многих задач характерные ряды данных могут свидетельствовать о качественных свойствах наблюдаемого объекта, например, спектральный образ участка поверхности Земли говорит о типе его покрытия, а временной ход вегетационного индекса — о произрастающих видах растений, хозяйственной деятельности и природных явлениях. Для сравнения ряда данных наблюдаемого объекта с эталонными рядами предусмотрена функция сохранения и выбора эталонов.

Примеры интерфейсов работы с рядами данных, реализованные в различных системах семейства "Созвездие-Вега", приведены на рисунке 1.3.5

Система построена на клиент-серверной архитектуре, причем на серверную часть возложена задача извлечения данных из массива и кэширования, а на клиентскую — интерактивное управление параметрами визуализации (отображение/скрытие, стили, масштаб). Дополнительно предусмотрена выдача ряда данных в табличном виде для проведения их дальнейшего анализа в различных специализированных программных системах.

В 2016 году была создана и внедрена в различные информационные системы семейства "Созвездие-Вега" новая усовершенствованная версия системы, позволившая существенно расширить наборы совместно анализируемой информации, функции управления визуализацией и анализа данных.

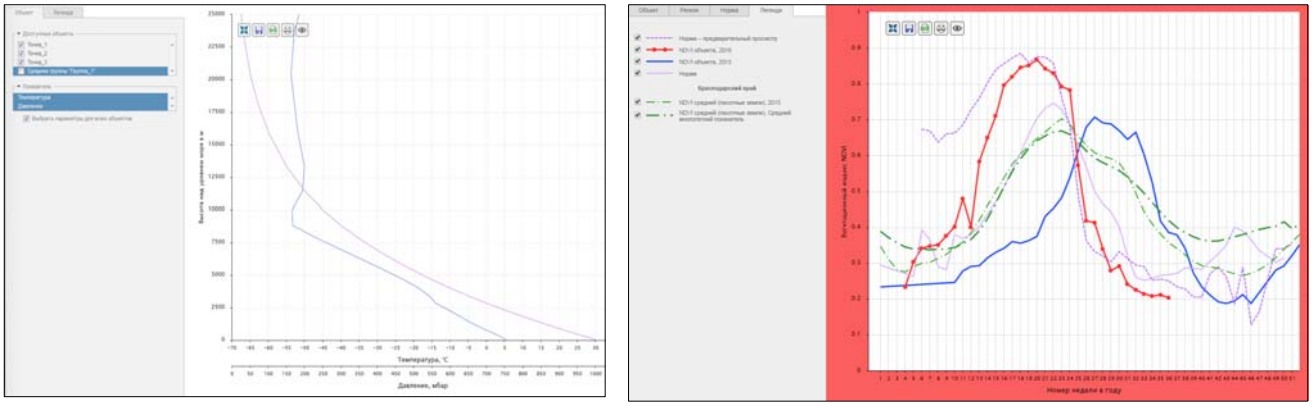


Рисунок 1.3.5 - Примеры интерфейсов работы с рядами данных реализованные в различных системах семейства "Созвездие-Вега"

1.4 Обеспечение постоянной работы и развитие Центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа данных спутниковых наблюдений ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») (пункт 4.1.5 плана работ на 2016 г.)

ЦКП «ИКИ-Мониторинг» предоставляет уникальные возможности для эффективной работы с данными дистанционного мониторинга Земли для решения различных научных и исследовательских задач, позволяя избежать необходимости создания дорогостоящей инфраструктуры для каждого из проектов. Возможностями ЦКП «ИКИ-Мониторинг» сейчас пользуются значительное число различных научных организаций и проектов, что, в частности, позволило реализовать целый ряд различных научных информационных систем. По объемам данных, находящимся в online-доступе, ЦКП «ИКИ-Мониторинг» входит сегодня в первую десятку мировых центров предоставления доступа к информации дистанционного мониторинга. По реализованному функционалу, обеспечивающему распределенный анализ и обработку данных, он является ведущим центром в России и конкурирует с наиболее передовыми мировыми системами этого класса.

ЦКП «ИКИ-Мониторинг» обеспечивает возможность доступа пользователей к архивам данных, имеющим фактически уникальное для отечественных ресурсов временное и пространственное покрытие. Основная область покрытия регулярными спутниковыми данными, доступными через ЦКП «ИКИ-Мониторинг», составляет более 25% площади поверхности суши Земли. В эту область входит вся Северная Евразия, включая арктические территории, приграничные моря России, а также ряд регионов в Африке, Азии, Северной и Южной Америке, наблюдаемых в рамках международных проектов. Для ряда данных, таких как метеоинформация и информация о пожарах, доступно регулярное глобальное покрытие. Благодаря возможности получения информации из единой системы работы с данными ФГБУ «НИЦ «Планета» пользователи имеют возможность работы с глобальными покрытиями данных, получаемых некоторыми российскими системами наблюдений (например, системами МСУ-МР и КМСС, установленными на спутнике Метеор М № 2). Доступ к этой информации организован в рамках соглашения Росгидромета и РАН, договора о сотрудничестве между ИКИ

РАН и ФГБУ "НИЦ "Планета" об организации доступа к спутниковой информации для выполнения научных проектов и программ.

Состав и наполнение архивов ЦКП «ИКИ-Мониторинг» постоянно расширяются. В 2016 году налажено постоянное поступление в архивы центра данных японского геостационарного спутника HIMAWARI-8 (прибор AHI), данных европейских спутника Sentilel-1A и Sentilel-1B (прибор C-SAR) и данных нового российского спутника Ресурс-П №3 (приборы КШМСА-ВР и Геотон-П). Также было налажено стабильное оперативное получение и усвоение данных Sentinel-2A из различных источников по территории Северной Евразии и полигонам проекта JECAM, включающих участи по всему миру. На основе уже имевшихся в архивах данных был реализован целый ряд новых информационных продуктов. В частности, была проведена модификация подсистемы для работы с радарными данными спутника Sentinel-1. Для этого была запущена новая система обработки данных этого спутника, включающая топографическую коррекцию и калибровку, учитывающая различные режимы съемки.

В ЦКП "ИКИ-Мониторинг" была внедрена в промышленную эксплуатацию система ведения архивов спутниковых данных UNISAT. Ключевой особенностью этой технологии является гибкая поддержка механизма «виртуальных продуктов», позволяющего предоставлять пользователям доступ к широкому спектру различных информационных продуктов, получаемых в режиме реального времени на основе данных, имеющихся в распределенных архивах. Другим не менее важным преимуществом используемых технологий является полноценная поддержка сложных инструментов для обработки и анализа данных в режиме реального времени непосредственно в рамках реализованных картографических WEB-интерфейсов. Таким образом, ЦКП «ИКИ-Мониторинг» в настоящее время не только обеспечивает доступ к архивам спутниковых данных, но и предоставляет разнообразные сервисы для распределенной обработки и анализа информации.

Внедрение ЦКП "ИКИ-Мониторинг" системы ведения архивов спутниковых данных UNISAT позволило существенно увеличить число доступных пользователям «виртуальных» продуктов, получаемых на основе обработки имеющихся в архивах данных, непосредственно в рамках работы интерфейсов доступа к данным.

В 2016 году также были выполнены работы по развитию возможностей, предоставляемых системой доступа к данным, включая их анализ и обработку в режиме реального времени. Так, были существенно усовершенствованы уже имевшиеся инструменты для анализа данных и реализован целый ряд новых инструментов, в том числе:

- Инструмент создания пользовательских карт, позволяющий объединять результаты классификации изображений в одну карту и получать тематические карты
- Инструмент расчета спектральных индексов, предназначенный для хранения, редактирования и добавления новых индексов для дальнейшего их использования в инструменте «Алгебра изображений»
- Инструмент расчета статистики значений спутниковых данных по векторным объектам (полям, декларациям вырубок), позволяющий анализировать изменения в границах векторных объектов по спутниковым данным высокого разрешения, например ход индекса ndvi на поле по данным Landsat.

Одной из наиболее востребованных возможностей, предоставляемых сегодня ЦКП «ИКИ-Мониторинг», является доступ к многолетним рядам однородных данных, что позволяет решать многие исследовательские и прикладные задачи, для решения которых необходимо анализировать динамику изменения тех или иных наблюдаемых объектов и характеристик. Так, пользователям системы доступны данные, получаемые спутниками Landsat с 1984 года. А хорошо очищенные и нормализованные данные

приборов MODIS, установленных на спутниках Terra и Aqua, имеются в архивах центра с февраля 2000 года.

На текущий момент пользователям ЦКП "ИКИ-Мониторинг" доступны спутниковые данные, полученные с более чем **30** различных приборов наблюдения Земли, установленных как на российских, так и на зарубежных спутниках ДЗЗ. Наиболее ранние данные в архиве датируются 1984 годом. К концу 2016 года суммарная скорость пополнения архивов, доступных пользователям ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (архивы ИКИ РАН и ФГБУ "НИЦ "Планета"), превышает 1 Тб/сутки, а объем информации, находящейся в непосредственном доступе, составляет более 1 Птб. При этом все данные доступны в режиме непосредственного доступа (online) в информационной системе ВЕГА-Science (sci-vega.ru). Информация о составе архивов спутниковых данных доступных пользователям ЦКП "ИКИ-Мониторинг" по состоянию на 23.11.2016 года приведена в Таблицах 1.4.1 и 1.4.2 Актуальная информация о наличии данных в архивах может быть получена на сайте отдела «Технологии спутникового мониторинга» http://www.iki.rssi.ru по ссылке http://smiswww.iki.rssi.ru/default.aspx?page=483**.** В рамках ЦКП «ИКИ-Мониторинг» также ведутся архивы различных промежуточных спутниковых продуктов, на основе обработки которых на регулярной основе получаются требуемые пользовательские продукты.

Кроме спутниковых данных и продуктов их обработки в архивах ЦКП «ИКИ-Мониторинг» имеются другие типы информации, используемые при решении задач мониторинга окружающей среды. В частности, в рамках центра поддерживаются архивы метеоданных в формате NCEP, получаемые из Национального центра атмосферных исследований США (NCAR) https://ncar.ucar.edu/. В настоящее время в архиве содержатся метеоданные с 2000 года по настоящее время по всему земному шару, относящиеся к следующим типовым наборам:

- ds093.0/ds094.0 – данные реанализа на регулярной сетке с шагом 0,5 градуса

- ds335.0 – данные прогноза на регулярной сетке с шагом 1 градус

Таблица 1.4.1
Статистика наличия данных в архивах ЦКП "ИКИ-Мониторинг"

№	Прибор	Спутник	Диапазон дат		Кол-во	Размер, Гб
1	ASAR 12,5м	ENVISAT	2003-08-22	2012-03-03	675	64
2	ASAR 75м	ENVISAT	2002-10-28	2012-04-08	27866	6915
3	ASTER	TERRA	2015-06-05	2016-07-20	1645	11
4	AVHRR	NOAA 18	2012-12-24	2016-11-23	36754	638
5	C_SAR_EW	SENTINEL-1	2014-10-03	2016-11-20	25461	3623
6	C_SAR_IW	SENTINEL-1	2014-10-03	2016-11-22	72187	52782
7	DEIMOS	DEIMOS	2009-12-17	2015-05-08	427	36
8	ETM+	LANDSAT 7	1999-06-29	2016-11-23	2237916	124746
9	HYPERION	EO-1	2001-05-03	2016-08-07	15000	4745
10	КМСС-101	Метеор-М1	2011-12-09	2013-01-14	14746	543
		Метеор-М2	2014-08-06	2015-07-02	11920	1034
11	КМСС-102	Метеор-М1	2011-12-09	2013-01-14	14477	571
		Метеор-М2	2015-02-12	2015-07-02	18948	1607
12	MODIS	AQUA	2012-03-25	2016-11-23	856869	41633
		TERRA	2000-01-09	2016-11-23	855500	43719
13	MSI	SENTINEL-2A	2015-07-26	2016-11-18	72418	222876
14	OLI	LANDSAT 8	2013-06-02	2015-09-20	2634	631
15	OLI-TIRS	LANDSAT 8	2013-04-11	2016-11-23	1161111	176932
16	ORBVIEW-3	ORBVIEW-3	2003-09-17	2007-03-04	79761	20656
17	SAR	ERS	2009-02-13	2011-07-04	458	34
18	TM	LANDSAT 4	1987-06-29	1993-07-16	44686	2062
		LANDSAT 5	1984-03-06	2012-04-25	1703363	81113
19	VEGETATION	PROBA-V	2014-03-13	2016-09-02	592	1098
20	VIIRS	Suomi NPP	2012-07-02	2016-11-23	40572	2692
ИТОГО:	-	-	1984-03-06	2016-11-23	7295986	**790761**

Таблица 1.4.2
Статистика наличия данных в архивах НИЦ "Планета"

№	Прибор	Спутник	Диапазон дат		Кол-во	Размер, Гб
1	AHI	HIMAWARI-8	2015-09-01	2016-11-23	217718	4274
2	AVHRR	NOAA 15	2011-12-22	2016-11-21	39801	534
		NOAA 16	2011-10-28	2014-06-06	47619	856
		NOAA 18	2011-09-20	2016-11-23	157926	3002
		NOAA 19	2011-11-24	2016-11-23	136713	2598
3	Геотон-П	Ресурс-П №1	2014-06-24	2016-11-21	356	252

		Ресурс-П №2	2015-03-23	2016-11-21	361	232
		Ресурс-П №3	2016-05-26	2016-11-18	144	65
		GOES-E	2013-05-23	2016-11-23	29855	937
4	Imager	GOES-W	2013-05-23	2016-11-23	43492	595
		MTSAT 2	2013-05-23	2015-12-04	30501	534
5	КМСС-101	Метеор-М1	2011-10-01	2014-09-23	35257	1474
		Метеор-М2	2014-09-17	2016-11-22	112458	11914
6	КМСС-102	Метеор-М1	2011-10-01	2014-09-23	38535	2079
		Метеор-М2	2014-09-17	2016-11-22	115129	13135
7	КМСС-50	Метеор-М2	2016-04-10	2016-04-19	900	37
8	MODIS	AQUA	2011-10-16	2016-11-23	228690	15701
		TERRA	2011-10-11	2016-11-23	214525	16454
9	МСС	Канопус-В	2011-12-30	2016-11-23	20198	477
10	МСУ-ГС	ELECTRO-L-1	2013-10-31	2016-07-12	17851	580
11	МСУ-МР	Метеор-М1	2014-03-07	2014-12-12	10319	162
		Метеор-М2	2014-07-31	2016-11-22	675453	15839
12	MVIRI	METEOSAT 7	2013-05-23	2016-11-23	96391	2108
13	ПСС	Канопус-В	2011-12-30	2016-11-23	16391	1624
14	SEVIRI	MSG	2013-05-23	2016-11-23	120505	7916
15	КШМСА-СР	Ресурс-П №2	2015-03-17	2016-10-09	48	15
16	КШМСА-ВР	Ресурс-П №1	2014-04-01	2016-11-23	991	823
		Ресурс-П №2	2015-03-17	2016-11-14	546	269
		Ресурс-П №3	2016-06-09	2016-11-20	30	17
17	VIIRS	Suomi NPP	2013-02-27	2016-11-22	121549	7921
ИТОГО:	-	-	2011-09-20	2016-11-23	2530252	**112424**

Как уже отмечалось, информационные ресурсы, доступные пользователям ЦКП «ИКИ-Мониторинг», постоянно (ежедневно) пополняются благодаря полностью автоматизированному поступлению данных новых наблюдений и различных информационных продуктов. При этом также постоянно расширяется состав информации, доступной пользователям центра.

В настоящее время доступом к архивам ЦКП «ИКИ-Мониторинг» сегодня пользуются более 30 научных организаций и проектов. В том числе возможности центра активно используются для решения задач различных проектов, поддерживаемых Российским научным фондом, Российским фондом фундаментальных исследований и Министерством образования и науки. В частности, они использовались и используются для выполнения, в

частности, следующих проектов РНФ (14-17-00389, 14-17-00555, 16-17-00042), РФФИ (11-07-12026-офи-м, 11-07-12028-офи-м, 13-07-00513, 13-07-12017, 13-07-12116, 13-07-12180, 13-05-41420-рго-а, 13-07-13168-офи-м, 14-05-20238, 14-35-10137, 15-07-05564, 15-29-07953, 16-37-00427, 16-29-09615), Минобрнауки (14.515.11.0007, 14.515.11.0014, 14.515.11.0030, 14.515.11.0011 14.607.21.0122, 14.616.21.0063).

Инфраструктура и архивы данных, накопленных в ЦКП «ИКИ-Мониторинг», используются сегодня, в частности, для обеспечения работы следующих специализированных информационных систем, создающихся в интересах различных научных проектов:

- Информационная система «VEGA-GEOGLAM» (http://vega.geoglam.ru/), разрабатываемая в рамках проекта SIGMA. Целью системы является обеспечение инструментами анализа данных дистанционных наблюдений участников международного проекта SIGMA, ориентированного на разработку методов и технологий дистанционного сельскохозяйственного мониторинга, в интересах создания глобальной системы мониторинга сельского хозяйства http://geoglam-crop-monitor.org/.
- Информационная система «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» VolSatView (http://volcanoes.smislab.ru/). Основной задачей системы является обеспечение специалистов-вулканологов оперативными спутниковыми данными и различными информационными продуктами, получаемыми на основе их обработки, для мониторинга и изучения вулканической активности Камчатки и Курил. Система создавалась и развивается в рамках проектов РФФИ (11-07-12026-офи-м, 13-07-12180).
- Спутниковый сервис See The Sea (STS, http://ocean.smislab.ru/) – информационная система, ориентированная на работу с данными спутниковых наблюдений для решения междисциплинарных задач

исследования Мирового океана. Особое внимание в системе уделяется возможностям работы с данными спутниковой радиолокации. Система призвана обеспечить специалистам, работающим в области исследования Мирового океана, возможность одновременной работы с различными видами спутниковой информации и удобный инструментарий, позволяющий проводить ее комплексный анализ. Система создавалась и развивается в рамках проектов РФФИ (11-07-12025-офи-м, 13-07-12017).

ЦКП «ИКИ-Мониторинг» также используется для проведения разработок методов обработки и анализа спутниковых данных, многие из которых впоследствии внедряются в различные прикладные информационные системы дистанционного мониторинга. Ниже перечислен ряд наиболее важных, на наш взгляд, таких систем:

- Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства ИСДМ-Рослесхоз (http://www.pushkino.aviales.ru), предназначенная для сбора информации о пожарах по всей территории России, сбора информации о состоянии окружающей среды, подготовки информационных продуктов для анализа пожарной обстановки и последствий пожаров и оперативного распространения накопленной информации.
- Отраслевая информационная система мониторинга Федерального агентства рыбного хозяйства (ОСМ Росрыболовства) (http://osm.smislab.ru/), ориентированная на получение информации о деятельности промысловых судов. В настоящее время ОСМ обеспечивает мониторинг российских и иностранных судов, ведущих промысел в экономической зоне России, а также российских судов, находящихся на промысле в различных районах мирового океана. ОСМ обеспечивает контроль нескольких тысяч судов, из которых около 2000

судов обычно находятся на промысле. По числу судов, находящихся под контролем, система является самой крупной в мире.

- Информационная система "ВЕГА-Приморье" разработана и поддерживается АНО "Общество дикой природы", ООО "ИКИЗ" и ИКИ РАН в качестве пилотного проекта по организации комплексного космического мониторинга лесов Приморского края. Проект инициирован соглашением о сотрудничестве между АНО "Общество дикой природы", ООО "ИКИЗ", ИКИ РАН и администрацией Приморского края от 22 декабря 2015 года, устанавливающим отношения стратегического партнерства в области использования технологий дистанционного зондирования из космоса для комплексного мониторинга лесов Приморского края с целью обеспечения максимально полного использования их ресурсно-экологического потенциала, повышения эффективности их охраны, защиты и использования, сохранения уникального биологического разнообразия лесной флоры и фауны.

Заключение

Представленные в данной главе материалы показывают, что работы по направлению «Мониторинг-Технологии» проводились в полном соответствии с утвержденным планом.

Из наиболее значимых результатов, полученных по данному направлению, следует отметить следующие:

- разработка методов потоковой автоматизированной обработки данных новых спутниковых систем таких, как HIMAWARI-8 и Sentinel 1, позволивших начать использовать получаемую от них информацию в ЦКП "ИКИ-Мониторинг" и в информационных системах семейства "Созвездия-Вега";

- разработка технологии UNISAT, ориентированной на однотипное ведение архивов спутниковых данных, поступающих от различных спутниковых систем и поддерживающих возможности динамического формирования "виртуальных" продуктов;
- перевод сверхбольших распределенных архивов спутниковых данных ЦКП "ИКИ-Мониторинг" на технологию UNISAT;
- создание новых инструментов распределенной обработки и анализа спутниковых данных;
- непрерывная поддержка работоспособности ЦКП "ИКИ-Мониторинг", расширение состава используемых в нем данных и инструментов для их анализа. Предоставление постоянной возможности использования ЦКП "ИКИ-Мониторинг" различным исследовательским организациям (более 40 организаций) и проектам.

Материалы, изложенные в данной главе, позволяют считать, что все работы по направлению «Мониторинг-Технологии» выполнены в полном объеме.

РАЗДЕЛ 2 МОНИТОРИНГ-БИОСФЕРА

Введение

Наземные экосистемы и, в частности, растительный покров играют основополагающую роль в обеспечении устойчивости биосферы и развития человеческого сообщества. Изменения растительного покрова планеты под воздействием различных природных и антропогенных факторов приводят, в силу наличия обратных связей, к изменению климата посредством меняющихся характеристик биогеохимических циклов, а также параметров круговорота энергии и воды. Актуальная информация о растительном покрове необходима как в научных задачах глобальных биосферных исследований, так и при решении различных экологических проблем. Состояние растительного покрова также имеет важное социально-экономическое значение.

Леса являются основным стабилизирующим элементом климатической системы Земли, обеспечивающим, в частности, практически весь сток углерода в растительные экосистемы. Площадь лесов России (более 20% площади всех лесов земного шара) предопределяет их особое значение в регулировании главнейших биогеохимических циклов планеты. Объективная информация о лесном покрове имеет практическую ценность при решении таких прикладных задач, как, например, оптимальное использование лесных и охотничьих ресурсов и мониторинг лесных пожаров. Указанные факторы определяют важность мониторинга пространственного распределения и динамики различных типов лесного покрова.

Единственным способом получения актуальных данных о растительном покрове в масштабах всей территории России остаются методы дистанционного зондирования Земли. Применение указанных методов позволяет получать информацию о пространственном распределении и динамике растительного покрова России. На развитие методов дистанционного зондирования из космоса для решения задач мониторинга

биосферы Земли и направлена научно-исследовательская работа по теме «Мониторинг-Биосфера». Подробно полученные в данном направлении результаты изложены в следующих научных публикациях [1-3, 22, 25, 32, 34, 35, 72, 74-77, 104, 106, 110-112, 133-138, 140, 141, 144, 145, 147-149, 151, 152, 157, 161, 163].

2.1 Формирование на основе спутниковой информации баз данных характеристик состояния окружающей среды, в том числе растительного покрова, для изучения и мониторинга наземных экосистем и биоразнообразия (пункт 4.2.1 плана работ на 2016 г.)

2.1.1 Актуализация и развитие многолетней базы данных о типах растительного покрова России

Спутниковое картографирование растительного покрова имеет широкое практическое использование и относится к числу интенсивно развивающихся научных направлений дистанционного зондирования Земли. В настоящее время при решении задач картографирования растительного покрова России не существует реальной альтернативы методам дистанционного зондирования. Многолетняя база данных о типах растительного покрова России, включающая в себя 23 тематических класса, дополнена новыми результатами спутникового картографирования, отражающими состояние наземных экосистем в 2015 году. Указанная база данных получена по данным спутниковой системы Terra-MODIS с пространственным разрешением 230 м и охватывает период 2000-2015 гг. Кроме того, с появлением данных прибора Proba-V, имеющего пространственное разрешение 115 м, получена более детальная информация о типах растительного покрова Приморского края по состоянию на 2015 год (рисунок 2.1.1).

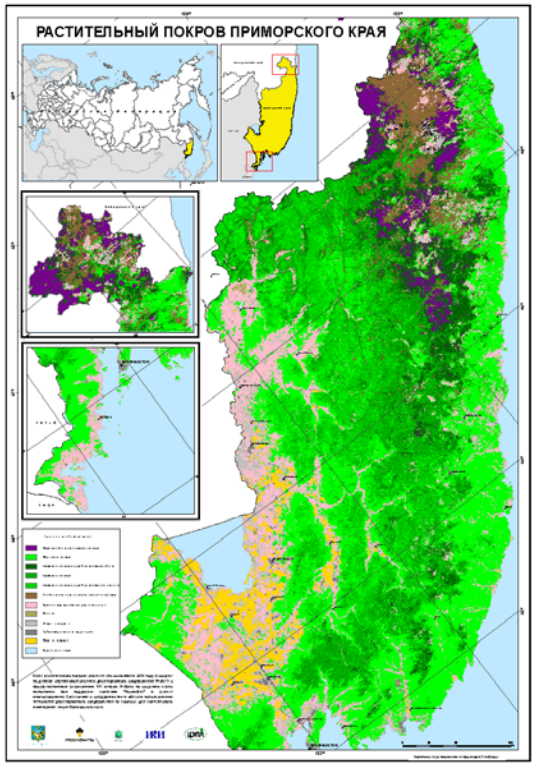


Рисунок 2.1.1 - Карта растительного покрова Приморского края по состоянию на 2015 год, созданная по данным спутниковой системы Proba-V

2.1.2 Актуализация многолетней базы данных о природных пожарах и их последствиях

В силу огромной территории России методы дистанционного зондирования Земли из космоса не имеют реальной альтернативы для получения однородной и полной информации о природных пожарах и их последствиях. Созданная на основе разработанных в ИКИ РАН методов многолетняя база данных о природных пожарах и их последствий была дополнена информацией о природных пожарах 2016 года. В настоящее время база данных включает:

- границы пройденных огнем участков за период 2000-2016 гг, сформированные на основе пространственно-временной кластеризации пикселов действующих пожаров, выявленных на основе детектирования температурных аномалий земной поверхности по данным MODIS с пространственным разрешением около 1 км;

- результаты выявления пройденных огнем участков за период 2006-2016 гг. на основе данных измерений спектрально-отражательных характеристик земной поверхности спектрорадиометром MODIS с пространственным разрешением 230 м;
- результаты выборочного картографирования за период 2010-2016 годов на основе данных высокого пространственного разрешения, таких как Landsat-TM/ETM/OLI-TIRS, Sentinel-2 и др. Построенные по спутниковым данным высокого пространственного разрешения границы пройденных огнем участков позволяют скорректировать оценки, получаемые на основе изображений более низкого пространственного разрешения;
- результаты оценки степени повреждения лесов пожарами за период 2006-2016 гг. на основе анализа постпожарных отражательных свойств лесов по данным MODIS с пространственным разрешением 230 м;
- результаты выявления постпожарных усыханий лесов по данным MODIS с 2006 по 2016 гг. с пространственным разрешением 230 м;

Созданная база пространственных данных охватывает всю территорию России и позволяет получать информацию о природных пожарах и их последствиях, как на уровне отдельных пожаров, так и в разрезе административно-территориальных единиц различных уровней и основных типов растительного покрова.

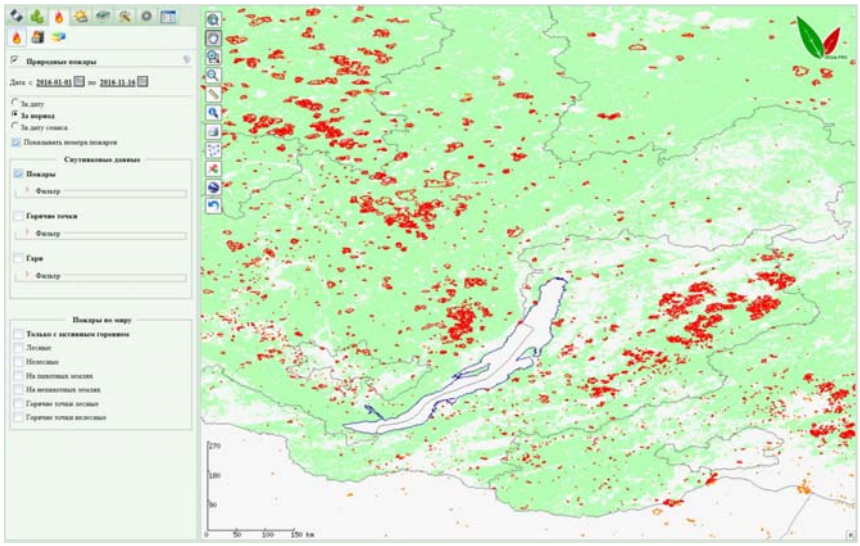


Рисунок 2.1.2 - Данные о пожарах 2016 года, выявленных на основе детектирования тепловых аномалий

2.2 Разработка научных подходов к построению полностью автоматизированных методов дистанционной оценки характеристик растительных экосистем на больших территориях (пункт 4.2.2 плана работ на 2016 г.)

2.2.1 Разработка нового подхода к восстановлению временных рядов данных спутниковых наблюдений для решения задач мониторинга растительного покрова

При решении задач мониторинга растительного покрова с использованием спутниковых данных высокой пространственной детальности (Landsat ETM+/OLI и др.) возникает необходимость восстановления временных серий дистанционных наблюдений с частотой, достаточной для оценки динамики объектов земной поверхности с высокой изменчивостью. Для решения этой задачи был разработан метод восстановления элементов временной серии измерений ARES на основе поиска спектрально-временных связей между эталонами и восстанавливаемым объектом. Метод опирается на использование парных метрик, рассчитываемых на основе сравниваемых временных серий, таких как коэффициент корреляции Пирсона и относительное расстояние. ARES использует пространственно-временные связи близко расположенных объектов одного типа растительного покрова для синтеза пропущенных измерений, доводя общую частоту наблюдений до приблизительно равной одному безоблачному наблюдению раз в 8 дней (частота съёмки системами Landsat-7 и Landsat-8). Кроме этого, для работы метода необходимо использование фенологически однородных областей (сегментов) для оптимизации времени работы. С целью подготовки очищенных от влияния облачности и теней временных серий изображений Landsat используется глубоко модернизированный метод FMASK. Последующая скользящая

оконная интерполяция полиномом второго порядка позволяет на основе синтезированных и исходных измерений восстановить сезонную временную серию с заданной частотой, обеспечивая одновременно заполнение пропусков от теней и облачности (рис. 2.2.1).

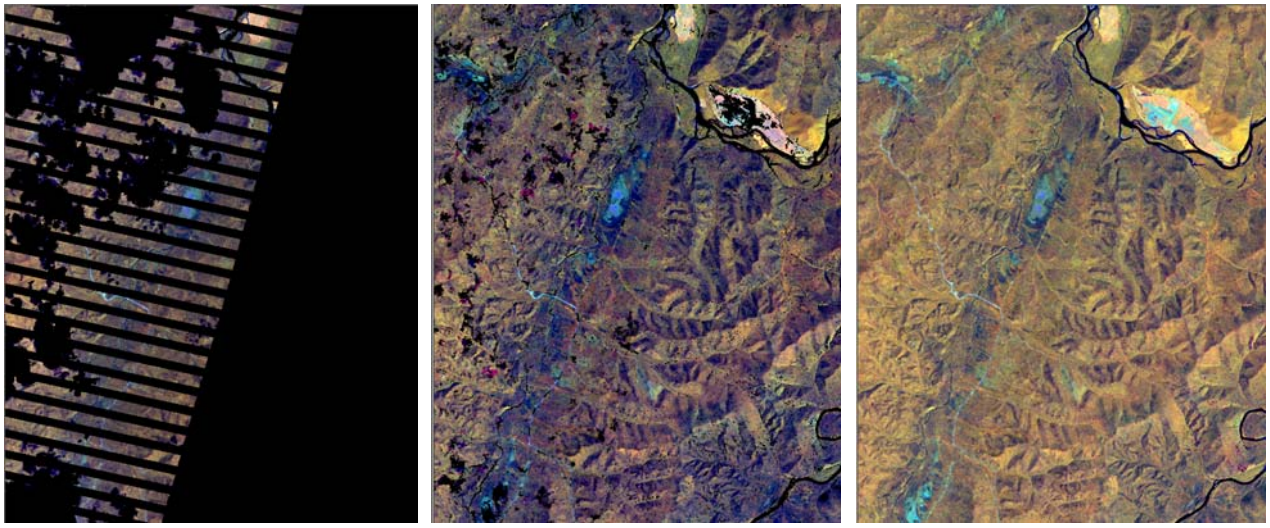


Рис. 2.2.1 - Пример восстановления изображения Landsat-7 за 23 июля 2015 года, слева – изображение после исключения облачности и теней, в центре – после восстановления методом ARES, справа – после полиномиальной интерполяции

Частые временные серии используются в дальнейшем для построения безоблачных композитных изображений и расчета спектрально-динамических признаков распознавания различных типов растительного покрова.

2.2.2 Разработка метода топографической нормализации данных спутниковых наблюдений растительного покрова

Применение методов дистанционного зондирования для картографирования и мониторинга растительного покрова в регионах с выраженным рельефом местности сопряжено с необходимостью учета вносимых им радиометрических искажений в данные измерений характеристик отраженного земной поверхностью излучения. Возрастающая под влиянием рельефа местности внутриклассовая изменчивость значений

яркостных характеристик объектов земной поверхности служит дополнительным источником ошибок, приводя, как правило, к снижению точности распознавания типов растительного покрова, выявления изменений его состояния и оценки количественных характеристик. Созданный в ИКИ РАН метод топографической нормализации данных спутниковых наблюдений с использованием модели Миннаерта с адаптивным учетом влияния геометрии земной поверхности позволил значительно улучшить качество производных тематических продуктов и количественных оценок. Метод апробирован на данных спутниковых наблюдений системой Proba-V территории Приморского края и позволил оценить его эффективность для снижения влияния рельефа на яркостные характеристики изображений (рисунок 2.2.2).

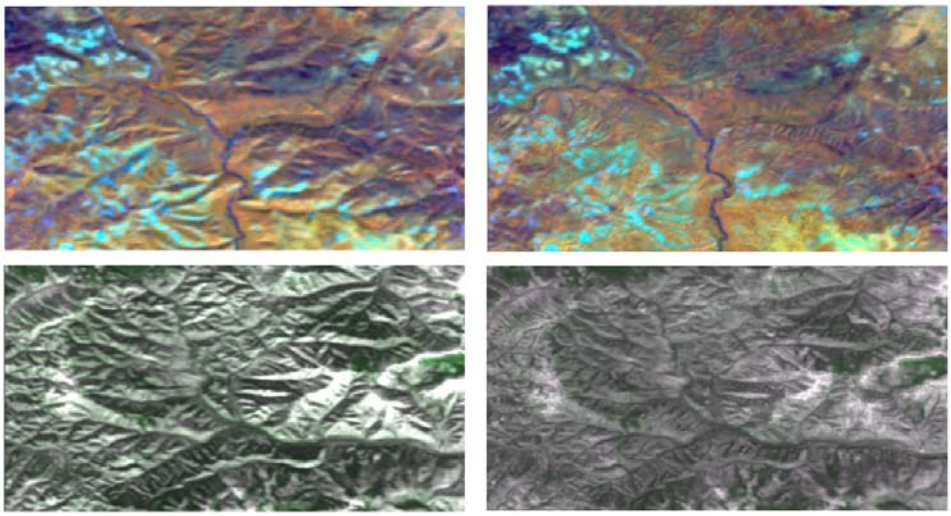


Рисунок 2.2.2 - Примеры летнего (сверху, RGB: NIR, SWIR, красный) и зимнего (внизу, RGB: красный, NIR, красный) композитных изображений до и после топографической нормализации

2.3 Разработка новых подходов и методов оценки последствий негативных воздействий (природных и антропогенных) на наземные экосистемы (пункт 4.2.3 плана работ на 2016 г.)

2.3.1 Развитие и оценка точности методов дистанционной оценки пройденных огнем площадей на основе комплексирования

спутниковых данных ДЗЗ различного пространственного разрешения

В настоящее время существует несколько достаточно хорошо разработанных методов оценки площадей, пройденных пожарами, упомянутых в разделе 4.2.1 данного отчета. Часть методов позволяет автоматически получать оценки (продукты) на всю территорию России, в то время, как другие используют интерактивные схемы обработки, повышающие надежность получаемых оценок.

В рамках проведенных исследований предложена методика измерения пройденной лесными пожарами площади, в основу которой положено совместное использование спутниковых измерительных продуктов трех уровней, отличающихся оперативностью получения и пространственной детальностью информации. Выбранный подход позволяет одновременно удовлетворять требованиям оперативности и максимально возможной точности получаемых оценок пройденной огнем площади на уровне субъектов РФ и страны в целом. Предложенная методика позволяет получать обновляемую в течение пожароопасного сезона информацию. При этом для каждого пожара используется вся доступная на текущий момент спутниковая информация и, в случае, если для данного пожара доступна информация из более, чем одного источника, то для выбора наиболее точной оценки используется следующая система приоритетов: (1) результаты картографирования пожаров по данным высокого пространственного разрешения 10-30 м, (2) результаты выявления пройденных огнем участков по данным с пространственным разрешением 230 м и (3) площади пожаров, полученные на основе пространственно-временной кластеризации пикселов действующих пожаров по данным с пространственным разрешением 1 км.

Важной частью методики является система автоматической оценки точности проводимых измерений. Методика предполагает использование данных предварительной оценк точности всех трех спутниковых измерительных продуктов. В частности, установленные зависимости

систематической погрешности измерения площади пожара от его размера позволяют внести соответствующие поправки в оценки площади. Зависимость уровня случайной погрешности от площади пожара позволяет автоматически определить как точность оценки площади отдельных пожаров, так и точность интегральной оценки площади всех пожаров на уровне отдельных регионов и страны в целом. При недостаточной точности полученных оценок пройденной огнем площади на уровне отдельных регионов методикой предполагается итеративное выполнение уточнений контуров пожаров по данным высокого пространственного разрешения до достижения необходимой точности (рис. 2.3.1).

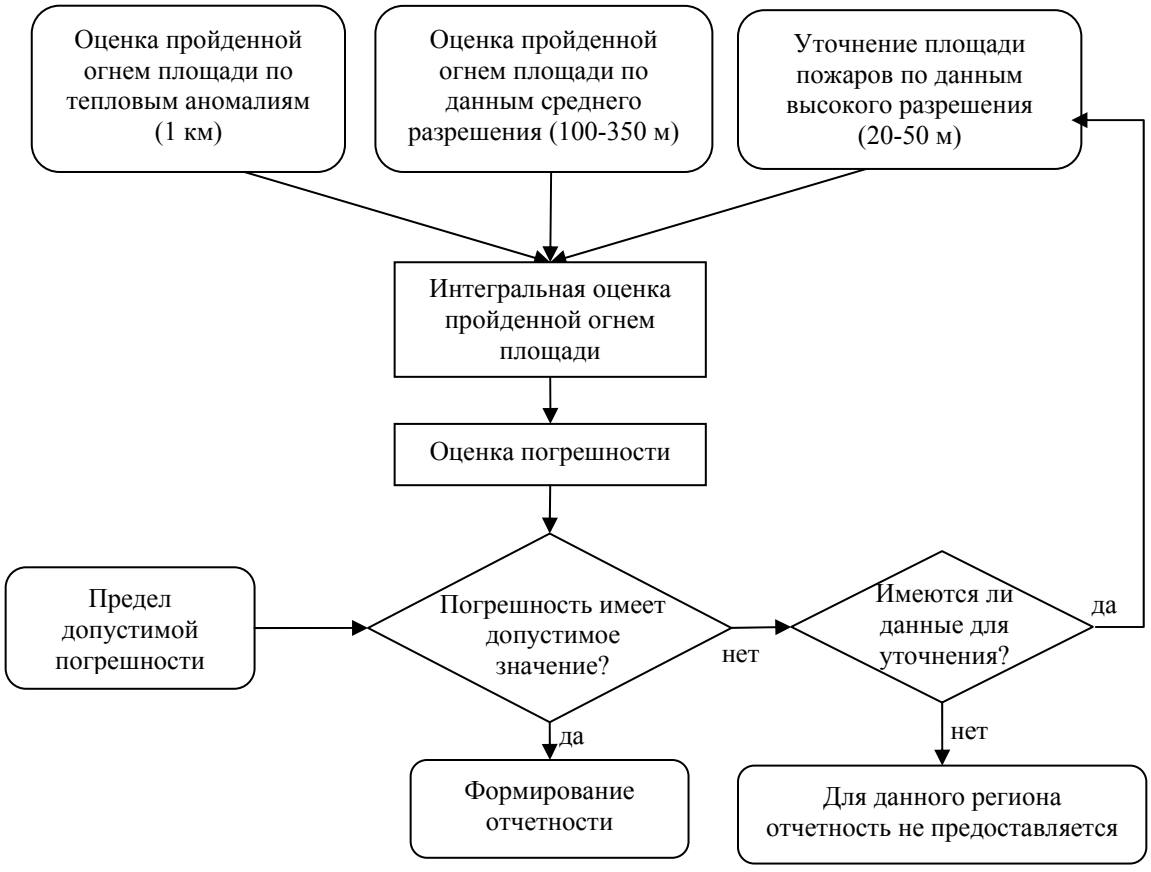


Рисунок 2.3.1 - Логическая схема измерения пройденной огнем площади на основе комплексирования спутниковых данных ДЗЗ различного пространственного разрешения

2.3.2 Метод выявления вырубок лесов на основе спутниковых данных высокого пространственного разрешения

Разработан метод детектирования рубок лесов по спутниковым данным среднего пространственного разрешения Landsat (30 м). Метод основан на использовании временной серии спутниковых изображений двух последовательных годов. Схема метода приведена на рисунке 2.3.2.

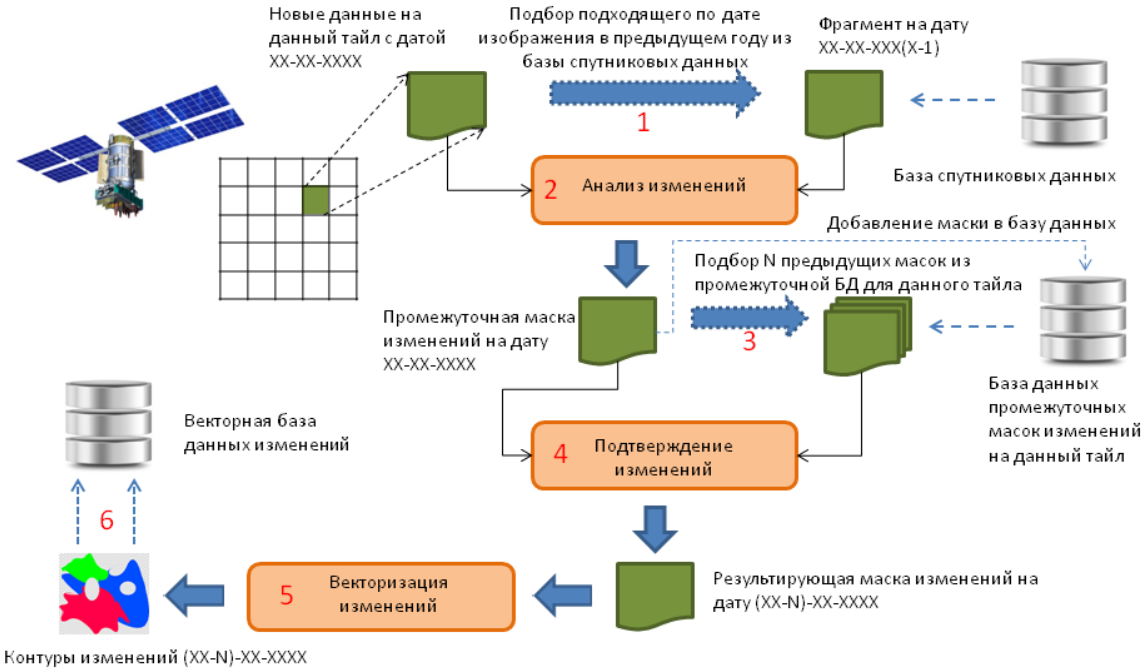


Рисунок 2.3.2 - Схема метода детектирования вырубок лесов по спутниковым данным

Для каждого изображения рассматриваемого года подбирается соответствующее ему изображение в предыдущем году. На этапе анализа изменений на основании выборки пикселей чистых яркостей, предварительно заданной пользователем, изображения преобразуются в долю покрытой лесом площади. С помощью выбора адаптивного порога строится промежуточная маска вырубок на текущую дату, которая заносится в базу данных. Чтобы избавиться от влияния радиометрических изменений, связанными со случайными факторами, например единичными облаками или тенями, и другими мешающими факторами, например тенями, вызванными

рельефом местности, на следующем этапе каждая новая вырубка подтверждается с помощью N следующих за ней промежуточных масок. Все подтвержденные вырубки векторизуются и заносятся в результирующую базу данных для дальнейшего анализа.

Использование близких по своим сезонным характеристикам изображений и преобразование их в долю покрытой лесом площади позволяет устранить влияние межгодовых вариаций растительности, связанных с погодными условиями и другими факторами. Благодаря анализу временной серии данных, в рамках данного метода возможно определение примерной даты каждой выявленной вырубки.

Метод применен для данных 2014-2016 годов на тестовом участке в Приморской крае, где активно ведется рубка лесов. Построена карта вырубок лесов 2015-2016 годов для данного участка.

Предложенный метод в настоящее время реализуется в системе VEGA для использования в интерактивном режиме с заданием для анализируемой территории оптимальных параметров алгоритма.

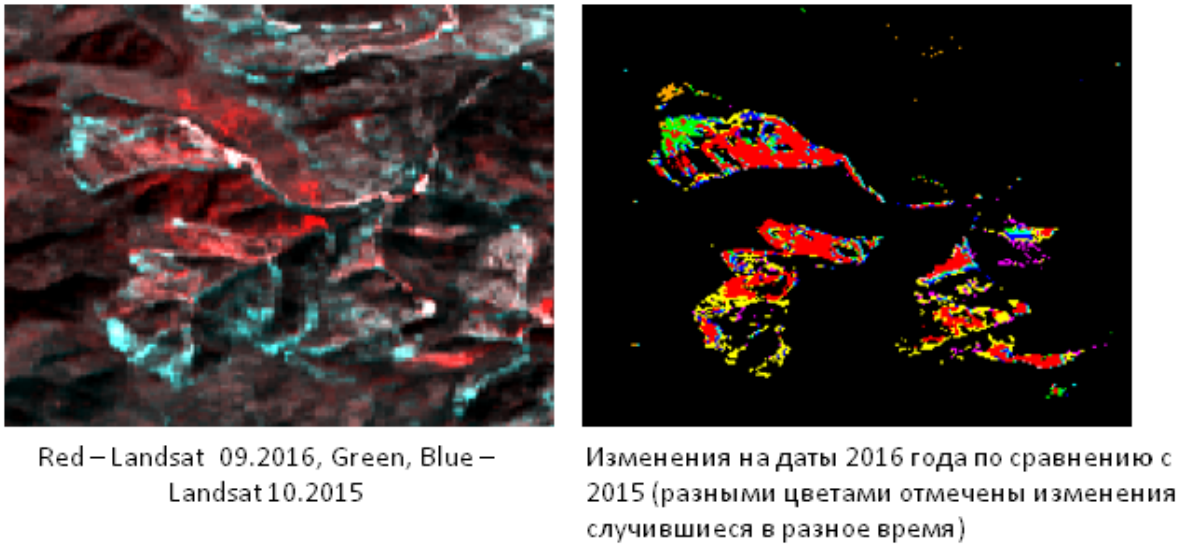


Рисунок 2.3.2.1 - Фрагмент карты вырубок лесов на тестовом участке Приморском крае

2.4 Создание моделей прогноза динамики растительного покрова и развития природных пожаров с использованием информации,

получаемой на основе данных спутниковых наблюдений (пункт 4.2.4 плана работ на 2016 г.)

2.4.1 Метод уточнения положения фронта горения на основе ассимиляции спутниковых данных в модель развития пожара

Информация о положении фронта пожара важна при решении задач по определению степени его угрозы для близлежащих объектов, принятия решений о мерах по борьбе с огнем и оценке постпожарных последствий. Оперативное получение данной информации в масштабах России может быть обеспечено только спутниковыми данными относительно низкого пространственного разрешения, имеющих достаточно большую погрешность определения положения фронта пожара.

В ИКИ РАН разработан алгоритм уточнения положения фронта пожара на основе ассимиляции спутниковых данных детектирования областей активного горения в модель развития пожара. Алгоритм основан на разработанной ранее имитационной модели развития пожара и методе вероятностного прогнозирования динамики распространения огня. В соответствии с алгоритмом уточненное положение фронта пожара определяется как минимум критерия, заданного относительно спутниковых и модельных оценок с учетом их погрешностей.

В соответствии с алгоритмом вдоль исходного фронта пожара строится набор возможных направлений (маркеров) распространения огня. Пересечение маркеров и детектированных очагов горения позволяет определить среднее и дисперсию для спутниковых оценок положения фронта пожара. В случае если на направление приходится несколько разновременных снимков, то для каждого времени наблюдения создается свой маркер. Вероятностное моделирование позволяет оценить параметры возможного распространения пожара вдоль каждого маркера – его среднее и дисперсию. Полученные спутниковые и модельные оценки объединяются в вектора средних значений и матрицы ковариаций между разными маркерами.

Предполагается, что спутниковые наблюдения независимы друг от друга и их матрица ковариаций диагональна.

Уточненное положение фронта пожара должно оптимальным образом соответствовать полученным векторам средних значений и матрицам ковариации. Критерий соответствий основан на сумме квадратичных форм отклонений фронта от средних модельных и спутниковых оценок относительно их матриц ковариации. Минимизация данного критерия посредством оптимизации методом градиентного спуска позволяет найти оптимальное положение фронта пожара вдоль каждого направления. Объединение полученных оптимальных положений для всех направлений дает уточненный контур пожара.

Данный метод применен для уточнения динамики фронта горения для более 230 пожаров на территории России в 2013 году. Для оценки точности результатов работы алгоритма полученные итоговые контуры пожара сравнивались с контурами по данным грубого разрешения (MODIS) и более высокого разрешения (Landsat). Оценивалось расстояние между контурами пройденной огнем площади. Полученные результаты показали, что уточненная оценка периметра пожара в среднем на 200 метров (или на 30%) ближе к фактическому положению гари, чем контур по данным низкого пространственного разрешения. Уточненный контур позволяет более адекватно оценить пройденную огнем площадь (значение коэффициента корреляции $R2 = 0.81$).

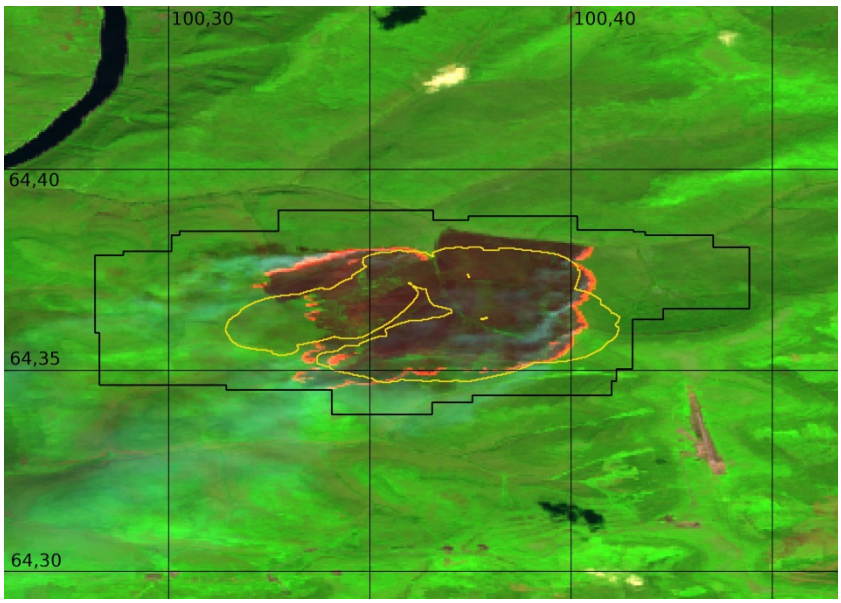


Рисунок 2.4.1 – Пример уточненного периметра пожара на 20.07.2013 6:05 GMT (желтая линия) в сравнении с его контуром по данным MODIS (черная линия) на фоне изображения термического фронта по данным OLI-TIRS (красный цвет)

2.5 Оценка масштабов и исследование основных факторов динамики растительного покрова России с начала 21 века (пункт 4.2.5 плана работ на 2016 г.)

2.5.1 Оценка многолетней динамики покрытой лесом площади на основе анализа временных рядов карт растительного покрова

В рамках работы по оценке динамики покрытой лесом площади был проведен анализ ежегодных карт растительного покрова с 2000 по 2015 года. Легенда карт растительного покрова содержит 23 тематических класса, включая 7 классов лесных экосистем.

Согласно графику на рисунке общая площадь лесов уменьшается с 2000 до 2003, достигнув локального минимума в 2003 году – 7,27 млн. кв. км. Затем площадь лесов монотонно растет, и наибольшее ее значение приходится на 2009 год – 7,41 млн. кв. км, после чего монотонно уменьшается до 7,26 млн. кв. км в 2015 году.

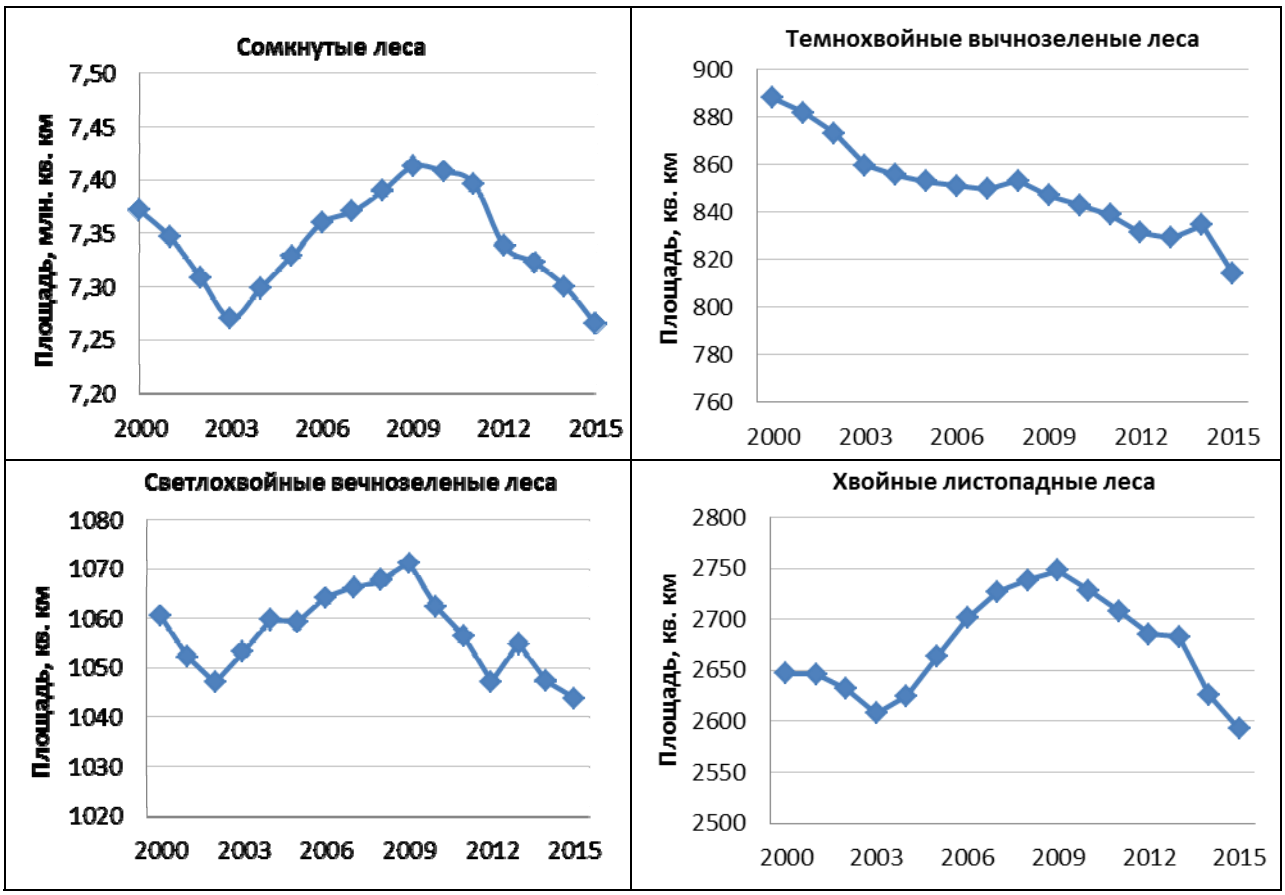


Рисунок 2.5.1 - Динамика площадей лесов России с 2000 по 2015 год

Распределение лесов по классам карты растительного покрова в основном стабильно на протяжении 15 лет: 36% занимают лиственничные леса (хвойные листопадные), 19% - лиственные, 14% - вечнозеленые светлохвойные, 12% - вечнозеленые темнохвойные леса, 7% - смешанный лес с преобладанием хвойных пород и 6% - смешанный лес и смешанный лес с преобладанием лиственных пород соответственно. Доля вечнозеленых темнохвойных лесов монотонно уменьшалась на протяжении и за 15 лет уменьшилась на 1%. Общая площадь вечнозеленых темнохвойных лесов с 2000 по 2015 год уменьшилась на 74 кв. км.

Доля лиственничных лесов увеличивалась с 2000 по 2002 год, затем упала до 35,87% в 2003 году, после чего монотонно росла до 37,07% в 2009 , и опять начала постепенно уменьшаться. Динамика площадей лиственничных лесов хорошо коррелирует с общей площадью сомкнутых лесов, так как лиственничные леса занимают в ней наибольшую долю.

С 2000 по 2011 год леса остаются достаточно стабильным объектом: 98,13% лесов остается лесом в следующем году и только 1,87% переходит в нелесные территории. С 2011 года процент перехода лесов в нелесные территории начал монотонно расти и к 2015 достиг 3,87%.

Усредненное распределение обезлесенных территорий по нелесным классам следующее: 23% - хвойные листопадные редины, 21% - травянистые экосистемы, 20% - болота, 13% - свежие гари и 10% - хвойные вечнозеленые кустарники. Распределение нестабильно и зависит в первую очередь от доли свежих гарей: небольшой пик наблюдается в 2002-2003 годах, примерно 23 тыс. кв. км, затем сильный подъем начинается в 2011 году. Пик его приходится на 2012 год, когда 40% территорий выведенных из лесных классов занимают свежие гари, что соответствует 75,94 тыс. кв. км. Два последних года площадь гарей остается на уровне 44,5 тыс. кв. км, что примерно в 2 раза больше среднего уровня.

Процесс лесовосстановления идет немного медленнее, чем исчезновение лесов: с 2000 по 2013 к лесу ежегодно в среднем добавляется 1,83% от его площади. С 2013 скорость восстановления лесов растет и достигает 3,5% в 2015 году. Наибольший вклад в процесс лесовосстановления вносят следующие классы: 25% - травянистые экосистемы и хвойные листопадные редины, 12% - хвойные вечнозеленые кустарники и 5% - свежие гари. Доля свежих гарей сильно меняется год от года, так как площадь зарастающих гарей зависит от количества пожаров за несколько лет до этого. Первый локальный максимум приходится на 2005-2006 года – 20 тыс. кв. км, второй – 2013-2014 года и достигает 30 тыс. кв. км. График зарастающих площадей для класса хвойные листопадные редины имеет максимумы в те же периоды, что график класса свежие гари. Ежегодная площадь зарастания травянистых экосистем имеет пики в 2003 и 2007-2009 годах, где увеличивается в 1,5 раза, и затем в 2014-2015 годах вырастает в два раза и достигает 67,5 тыс. кв. км. Для класса хвойных

вечнозеленых кустарников площадь зарастания в 2014-2015 годах увеличивается примерно в 2 раза до 25,8 тыс. кв. км.

2.6 Создание на основе автоматизированных методов обработки данных спутниковых наблюдений Земли динамических карт агроценозов России (пункт 4.2.6 плана работ на 2016 г.)

2.6.1 Метод картографирования пахотных земель на основе спутниковых данных высокого пространственного разрешения

Для распознавания пахотных земель необходимо использование временных серий частых наблюдений для учета высокой фенологической изменчивости сельскохозяйственных культур. Высокая скорость набора биомассы, выраженный пик кривой фенологического развития и наличие открытой почвы в течение сезона вегетации являются характерными признаками используемой пашни. Подобные признаки успешно используются многими автоматическими методами распознавания пахотных земель, работающими, в том числе, на больших территориях национального и континентального охвата. Учитывая высокую изменчивость сельскохозяйственной растительности, только сенсоры с близкой к ежедневной повторяемостью наблюдений позволяют в условиях наличия мешающих факторов обеспечить построение частых временных серий, необходимых для извлечения требуемых фенологических характеристик. При выборе спутниковой системы для мониторинга пахотных земель разработчики автоматических методов сталкиваются с необходимостью учитывать сложившееся соотношение между повторяемостью наблюдений и пространственным разрешением спутникового прибора: чем выше первое, тем ниже второе, и наоборот. В условиях неоднородных ландшафтов уточнение границ и выявление небольших полей спутниковыми системами с разрешением порядка сотен метров и более, несмотря на довольно частую повторяемость съёмки, затруднено или невозможно. Для создания частых временных серий высокого пространственного разрешения в рамках данного

подхода было решено использовать методы синтеза спутниковых данных. Так, в ИКИ был разработан метод ARES, предназначенный для восстановления временных серий достаточно частых измерений, которые обеспечили построение спектрально-динамических признаков с разрешением 30 метров. Использование этих признаков, а также семидневных композитных изображений позволило существенно улучшить качество обучающей выборки и обозначило новые возможности ранее неиспользуемых ввиду низкого пространственного разрешения спектральных диапазонов при распознавании пахотных земель. Для распознавания пашни использовался локально-адаптивный алгоритм LAGMA, в качестве метода классификации был выбран Random Forest ввиду неодномодальности распределения значений признаков внутри классов. Новая карта пашни с разрешением 30 метров, построенная на территорию Приморского края (рисунок 2.6.1), позволила уточнить региональную площадь пахотных земель и улучшила детализацию границ выявляемых полей по сравнению с картой, полученной по данным MODIS с разрешением 250 метров.

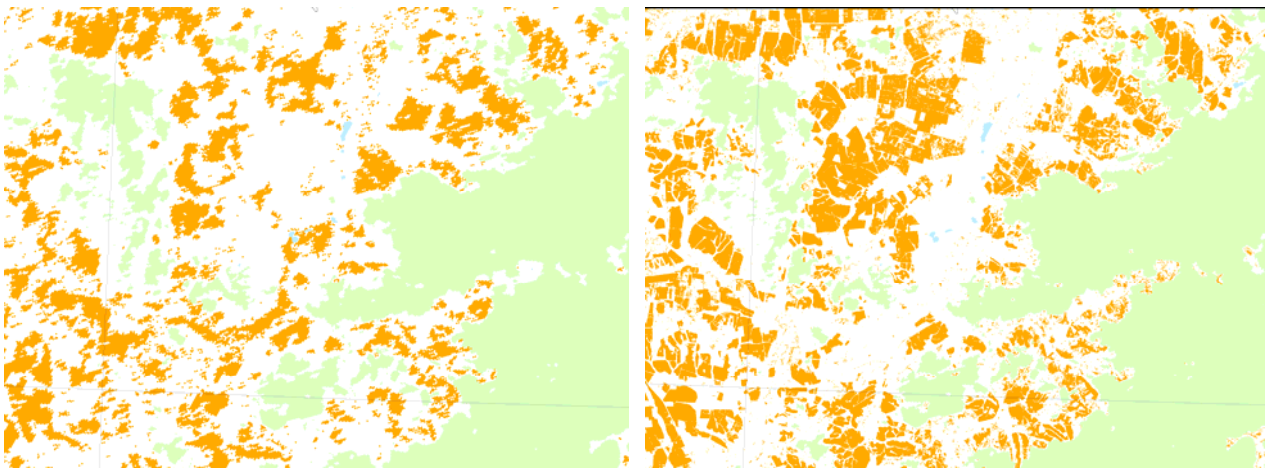


Рисунок 2.6.1 - Сравнение фрагментов карт пахотных земель на территорию Приморского края по данным MODIS (слева) и Landsat (справа)

Проведено сравнение пяти различных методов дистанционного распознавания используемой пашни на примере агросистем разных регионов планеты на основе временных серий данных прибора MODIS аппаратов Terra

и Aqua. Для сравнения были использованы методы распознавания используемой пашни, разработанные в ИКИ РАН (Россия, LSAM), UCL (Бельгия, KBC2), INTA (Аргентина, TSAEC), RADI (Китай, DT), SRI (Украина, NNE).

Сравнение было произведено с тем, чтобы понять какую роль в ошибке распознавания играет непосредственно метод, а также оценить роль пространственного разрешения прибора. Кроме этого, было получено представление о возможностях каждого метода по распознаванию пашни на континентальном и глобальном масштабе.

Результаты оценки показали, что основное влияние на точность распознавания оказывает тип агроландшафта, обусловленный особенностями местного севооборота и размерами полей, при этом методы демонстрируют очень близкие точности распознавания.

Дополнительно был проведено исследование устойчивости методов к уменьшению объёма обучающей выборки. Было обнаружено, что все методы достигают близкого к максимальному значению точности распознавания при использовании только 20% от исходного объёма выборки.

2.6.2 Исследование возможностей распознавания сельскохозяйственных культур на основе радиолокационных спутниковых данных

Системы дистанционного микроволнового зондирования по сравнению с данными оптического диапазона позволяют получать данные в любое время суток и независимо от метеорологических условий. В настоящее время большой интерес представляет спутник Sentinel-1A, данные которого находятся в открытом доступе (https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home).

В ИКИ РАН проведены эксперименты по распознаванию посевов различных сельскохозяйственных культур с использованием данных Sentinel-1A, полученных сенсором C-SAR (длина волны 5,6 см) в различной

поляризации (ВВ, ВГ) и интерферометрическом режиме (мода IW) с пространственным разрешением 9,8 м.

Процедура предварительной обработки включает в себя калибровку, топографическую нормализацию при помощи ЦМР, фильтрацию спекл-шума адаптивным фильтром Ли.

Исследование возможностей распознавания сельскохозяйственных культур (СХК) выполнено с использованием наземных данных о тестовых полях с посевами кукурузы, подсолнечника, озимых (пшеница, ячмень, рапс), льна, люцерны, кориандра. На рисунке 1 представлены спектрально-временные зависимости СХК. При анализе кривых практически у всех культур обнаруживается резкий скачок удельной эффективной поверхности рассеяния (УЭПР) в первой декаде мая. Это связано с тем, что на ранних стадиях развития растительности в структуре сигнала преобладает однократное обратное рассеяние, и оно в большей степени зависит от таких параметров, как влажность почвы и её шероховатость. Согласно метеоданным 10-11 мая над исследуемой местностью наблюдались ливневые дожди, что нашло отражение в динамике роста. Из-за этой особенности рекомендуется использовать радиолокационные изображения (РЛИ), полученные в период развития и зрелости, когда основную роль играет объёмное рассеяние.

Также следует отметить, что ВВ-поляризация представляет возможности картографирования для большего числа культур, нежели ВГ-поляризация.

Общая точность распознавания СХК составила 83,01 %. Озимая пшеница показала наихудшие результаты, а подсолнечник и озимый рапс – наилучшие. Фрагмент полученной карты представлен на рисунке 2.6.2. 2.

ВВ-поляризация	**ВГ-поляризация**

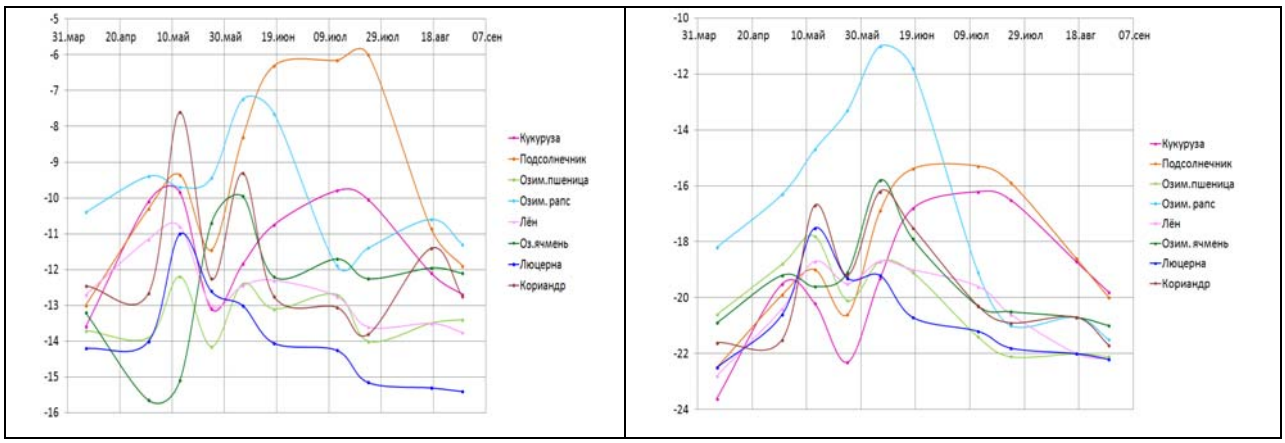


Рисунок 2.6.2.1 Сезонная динамика УЭПР различных сельскохозяйственных культур при различной поляризации микроволнового излучения

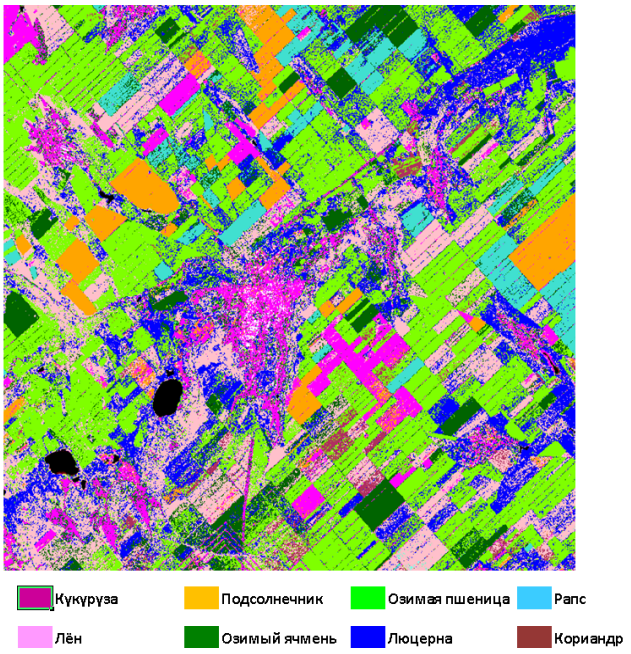


Рисунок 2.6.2.2 - Фрагмент карты СХК по данным Sentinel-1A

Исследованы возможности распознавания подсолнечника – основной масличной культуры России – как по данным РЛИ, так и в сочетании с данными сенсора MSI Sentinel-2. Ввиду многомодального характера гистограммы значений УЭПР, относящихся к незанятым подсолнечником площадям, использовался непараметрический алгоритм - искусственная нейронная сеть (ИНС) с одним скрытым слоем и обратным распространением ошибки.

Классификация проводилась как попиксельно, так и на уровне объектов. Во втором случае на вход ИНС подавались значения УЭПР, усреднённые по цифровой карте границ полей. В качестве исходных данных применялись не только разнополяризованные РЛИ, полученные в различные периоды вегетационного сезона, но и рассчитанные на их основе радиолокационные признаки: РП1 (ВГ/ВВ) и РП2 ((ВВ-ВГ)/(ВВ+ВГ)). Шестой и седьмой каналы (b6, b7) сенсора MSI КА Sentinel-2 использовались при совместной обработке изображений. В Таблице 2.6.1 представлены результаты эксперимента.

Таблица 2.6.1 Результаты распознавания посевов подсолнечника по данным Sentinel-1

Номер	Признакb*	Общая точность классификации, %	
		Пиксельная	Объектная
1	$ВВ^{215}$; $РП1^{215}$	83,7	86,0
2	$ВВ^{215}$; $РП1^{215}$; $b6^{220}$; $b7^{220}$	85,8	89,7
3	$ВВ^{155}$; $ВВ^{167}$; $ВВ^{191}$; $ВВ^{203}$; $ВВ^{215}$; $ВВ^{227}$; $ВВ^{239}$	87,5	96,6
4	$РП2^{155}$; $РП2^{167}$; $РП2^{191}$; $РП2^{203}$; $РП2^{215}$; $РП2^{227}$; $РП2^{239}$	84,7	93,6
5	$РП2^{215}$; $b6^{220}$; $b7^{220}$	87,2	89,1

*верхний индекс признака – номер дня в календарном году

На основании исследования можно сделать следующие выводы:

- общая точность (ОТ) объектной классификации превышает ОТ пиксельной классификации в среднем на 5 %;

- наилучшая распознаваемость достигнута при использовании летней временной серии изображений ВВ-поляризации и объектной классификации;

- совместная обработка данных Sentinel-1A и Sentinel-2 уменьшает время обучения ИНС, среднеквадратическую ошибку (СКО) обучения сети (с 0,67 до 0,31), однако существенного улучшения распознаваемости при этом не наблюдается;

- использование максимально возможного числа изображений увеличивает время обучения ИНС, однако СКО процесса независимо от признака не превышает 0,05.

При обработке данных за различные годы (2015 и 2016) получены достаточно устойчивые результаты распознавания подсолнечника - разница ОТ не превышает 3%.

В целом, РЛИ демонстрируют достаточно высокую распознаваемость СХК и представляют собой перспективную область исследований в области дистанционного зондирования сельскохозяйственных земель.

Заключение

Выполнение научно-исследовательских работ по теме «Мониторинг-Биосфера» проводилось в полном соответствии с утвержденным планом.

В результате выполненных работ получили развитие базы данных характеристик состояния окружающей среды, полученных на основе спутниковой информации для изучения и мониторинга наземных экосистем и их биоразнообразия. В частности, актуализированы базы данных о типах растительного покрова России, а также о лесных пожарах и их последствиях.

Разработаны методы предварительной обработки спутниковых данных для решения задач дистанционной оценки характеристик и мониторинга растительного покрова, а именно методы восстановления временных рядов данных наблюдений и топографической нормализации изображений.

Разработаны методы оценки последствий природных и антропогенных воздействий на наземные экосистемы. Проведено развитие и оценка точности методов дистанционной оценки пройденных огнем площадей на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения, а также предложен метод дистанционного выявления вырубок лесов. Разработан метод уточнения положения фронта горения на основе ассимиляции спутниковых данных в модель развития пожара.

Выполнена оценка масштабов и исследование основных факторов динамики растительного покрова России с начала 21 века. Результаты научных исследований указывают на нарастающий характер процессов трансформации наземных экосистем России.

Для решения задач мониторинга агроценозов России разработан метод картографирования пахотных земель на основе спутниковых данных высокого пространственного разрешения и исследованы возможности распознавания сельскохозяйственных культур на основе радиолокационных спутниковых данных.

Научно-исследовательские работы по теме «Мониторинг-Биосфера» выполнены в полном объеме.

РАЗДЕЛ 3 МОНИТОРИНГ-КЛИМАТ

Введение

В 2016 г. в рамках работ по теме «Мониторинг» были запланированы следующие работы:

- Разработка научных основ и методов анализа глобальных спутниковых наблюдений для объективной оценки изменений окружающей среды и климата.

  В том числе:

  - разработка принципиально новой электродинамической модели радиоизлучения арктического ледяного покрова для изучения пространственно-временных характеристик северной полярной шапки по данным многочастотной микроволновой спутниковой радиометрии в контексте задач изучения изменчивости климатических параметров планеты;
  - развитие методов научного прогноза изменения климатического состояния системы океан-атмосфера в Арктике и в тропической зоне Земли под воздействием природных факторов на основе современных и перспективных спутниковых комплексов. Исследование полярного переноса скрытого тепла из тропической зоны в средние и высокие широты методами скоростного радиотепловидения;
  - разработка ТЗ по созданию перспективного многочастотного радиотеплового комплекса для выполнения КЭ «Конвергенция»;
- разработка научных подходов организации дистанционного мониторинга природных катастрофических явлений, риска их возникновения и их последствий (ураганов, извержения вулканов и др.), в том числе в 2016 г.

– развитие методов формирования научной базы данных глобального тропического циклогенеза и баз данных глобальных радиотепловых полей системы океан-атмосфера на основе многолетних данных дистанционного зондирования из космоса (2014–2016).

Настоящий раздел посвящён описанию основных результатов, полученных при выполнении данных работ. Полученные в рамках работ 2016 года результаты также изложены в следующих публикациях [9, 10, 17, 31, 36, 39, 40-43, 46, 53, 54, 70, 80, 117, 141,165, 183, 187-189, 204, 208, 236, 237].

3.1 Разработка научных основ и методов анализа глобальных спутниковых наблюдений для объективной оценки изменений окружающей среды и климата (пункт 4.3.1 плана работ на 2016 г.)

3.1.1 Разработка принципиально новой электродинамической модели радиоизлучения арктического ледяного покрова для изучения пространственно-временных характеристик северной полярной шапки по данным многочастотной микроволновой спутниковой радиометрии в контексте задач изучения изменчивости климатических параметров планеты

Разработана теоретическая модель излучение системы «водная поверхность — морской лёд – снежный покров – атмосфера» в микроволновом диапазоне электромагнитных волн. Ледяной и снежный покров, согласно модели, представляются слоистой средой, где каждый слой имеет свои физические параметры. Электродинамические свойства каждого слоя определяются из авторской модели эффективной диэлектрической проницаемости гетерогенной среды. Данная модель учитывает эффекты рассеяния электромагнитного излучения на неоднородностях среды. Входными параметрами модели являются реальные физические характеристики морского льда и снега. На основе данной модели создан новый алгоритм определения сплочённости и ледовитости морского льда

полярных регионов (Северный Ледовитый и Южный океаны) по данным спутниковой микроволновой радиометрии VASIA2 (Variation Arctic/Antarctic Sea Ice Algorithm 2). Алгоритм использует каналы 18–19, 36–37 и 85–92 ГГц вертикальной и горизонтальной поляризации, что позволяет применять его к данным приборов: SMMR, SSM/I, SSMI/S, AMSR-E, AMSR2, МТВЗА-ГЯ. Алгоритм не использует значения точек привязки (связующих точек), определение которых является основной задачей всех современных алгоритмов. Методика построения алгоритма позволила минимизировать влияние атмосферных изменений на расчёты сплочённости морского льда, что выгодно отличает его от других алгоритмов. Разработанный алгоритм определяет не только сплочённость и ледовитость морского льда, но и площади областей ледяного покрова, занятые снежницами (области талого и растаявшего снега на льду), которые являются индикатором климатических вариаций региона, а также во многом определяют термодинамику ледяного покрова и характер взаимодействия океана и атмосферы.

На рисунке 3.1.1 представлены полученные впервые синхронные временные ряды динамики изменения площади основного ледяного покрова Северного Ледовитого океана, восстановленных по алгоритмам VASIA2 и NASA Team 2, а также площади снежниц (областей талого и растаявшего снега) на поверхности льда, полученная по алгоритму VASIA2, с 1992 по 2016 г. Площадь основного ледяного поля, восстановленная по двум алгоритмам, практически идентична. Различия наблюдаются в летнее время, что связано с разным подходом к определению сплочённости льда при создании алгоритмов (связующие точки, методы вычисления, фильтры, модели атмосферы и т.д.). Области ледяного покрова, занятые снежницами, в зимние месяцы практически отсутствуют. В летнее время площадь снежниц может достигать 50% площади поверхности льда. Дальнейший комплексный анализ многолетних изменений площади льда, площади снежниц, а также средней температуры воздуха позволит оценить климатические тенденции данного региона.

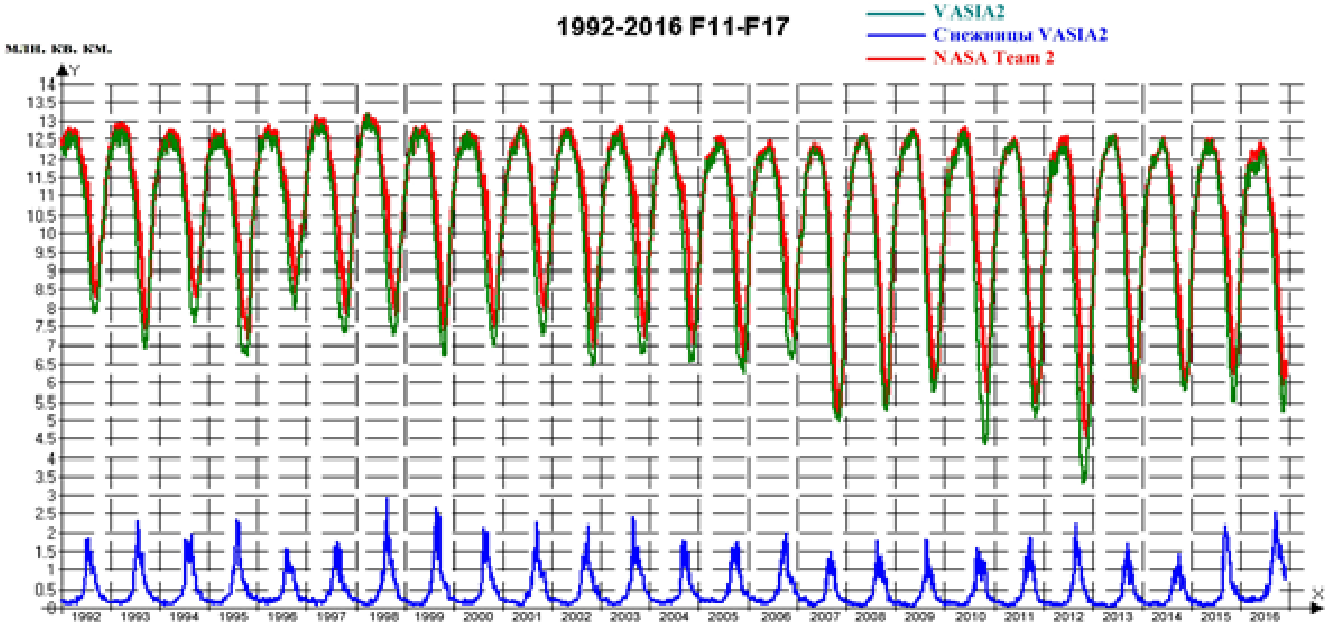


Рисунок 3.1.1 — Синхронные временные ряды динамики изменения площади основного ледяного покрова Северного Ледовитого океана, восстановленных по алгоритмам VASIA2 и NASA Team 2, а также площади снежниц (областей талого и растаявшего снега) на поверхности льда, полученная по алгоритму VASIA2, с 1992 по 2016 г.

3.1.2 Развитие методов изучения проявления климатических тенденций в системе океан-атмосфера и в структуре радиотеплового поля Земли с использованием данных микроволнового спутникового мониторинга

3.1.2.1 Исследование полярного переноса скрытого тепла из тропической зоны в средние и высокие широты методами скоростного радиотепловидения

В настоящее время ИКИ РАН в кооперации с сотрудниками ФИРЭ РАН продолжают активно разрабатываться предложенная ранее методика и соответствующее программное обеспечение для выполнения спутникового радиотепловидения при наблюдении (в режиме анимации) мезомасштабных и синоптических процессов. Методика состоит в пространственно-временной интерполяции и анализе измеренных с полярно-орбитальных спутников радиотепловых полей Земли и восстановленных по ним полей геофизических

характеристик. Предложенная методика позволяет получать динамическое описание эволюции рассматриваемых полей с временным шагом (пикселом) до рекордных значений — 1,5 ч на глобальной регулярной географической сетке с шагом до 0,125°, что предоставляет уникальную возможность прямого расчёта физических величин, характеризующих энергетические аспекты массо- и энергопереноса в атмосферных системах с горизонтальными размерами от 100 км и развивающихся на субсуточных и более длительных интервалах времени, вплоть до процессов синоптического масштаба и, в первую очередь, полей водяного пара в атмосфере Земли. В 2016 г. работа была направлена на развитие методических основ подхода спутникового радиотепловидения. Основной решённой задачей является создание и математическое описание замкнутой схемы вычисления потоков скрытого тепла (и иных интегральных характеристик динамики геофизических полей) через произвольно задаваемые контуры (границы). Предложенное новое описание контура, в совокупности с ранее полученными результатами, открывает возможность моделирования не только статических, но и произвольно перемещающихся и деформирующихся границ, что чрезвычайно важно в условиях меняющихся климатических состояний атмосферы Земли.

Была проведена апробация созданной вычислительной схемы на примере расчёта потоков скрытого тепла из Северной Атлантики в Арктику за 2014 г. (рисунки 3.1.2.1.1, 3.1.2.1.2). Его предварительный анализ позволяет выделить следующие основные характеристики:

1. Процесс имеет сложный, «пульсирующий» характер с типичной амплитудой пульсаций 0,5–1,0 ПВт и максимумом около 3,5 ПВт, что находится в хорошем качественном согласии с модельными оценками.
2. При преобладании положительных значений (см. ниже), т.е. переноса тепла в сторону Арктики, часто встречаются и отрицательные значения потоков. Это вполне ожидаемый эффект,

связанный как с формированием альтернативных путей притока тепла в Арктику, так и с фиксацией разных фаз пересечения выбранной границы крупномасштабными атмосферными системами, в ходе которого наблюдаемые векторы адвекции вращались в узлах контура, имея в некоторые моменты составляющую в южном направлении.

3. На фоне мелкомасштабных пульсаций выделяются более длиннопериодические колебания с периодом около двух недель, которые вполне могут быть связаны с естественным синоптическим ритмом исследуемого региона.
4. Кроме отмеченных осцилляций отчётливо выделяется основная мода колебаний, выражающаяся в нарастании максимальных значений потоков к середине исследованного периода (в летний сезон) и убывании к началу и концу года.
5. Расчёт полного количества скрытого тепла, перенесённого из Атлантики в Арктику в различные сезоны 2014 г., подтверждает и детализирует общий вывод предыдущего пункта (см. рисунок 3.1.3). Так, за период с января по март 2014 г. (первые 90 дней года) эта величина составила около $0{,}4 \cdot 10^{15}$ МДж; за период с октября по декабрь (последние 92 дня года) — около $0{,}6 \cdot 10^{15}$ МДж; за период с апреля по сентябрь (183 дня тёплого сезона) — около $2{,}2 \cdot 10^{15}$ МДж, что более чем вдвое превышает суммарное тепло, перенесённое за холодную половину года. Следует отметить, что полученная величина в $2{,}2 \cdot 10^{15}$ МДж сопоставима с энергией, требуемой для полного таяния арктического ледяного покрова.

В работе за 2016 г. кратко обсуждены направления дальнейшего развития подхода спутникового радиотепловидения. Совершенствованию методики, несомненно, будет способствовать расширение анализа на максимально возможный объем доступных спутниковых данных. К

настоящему моменту авторы уже располагают значительными массивами накопленных и обработанных с применением подхода спутникового радиотепловидения данных, частично представленными и обновляемыми на геопортале http://fire.fryazino.net/tpw/.

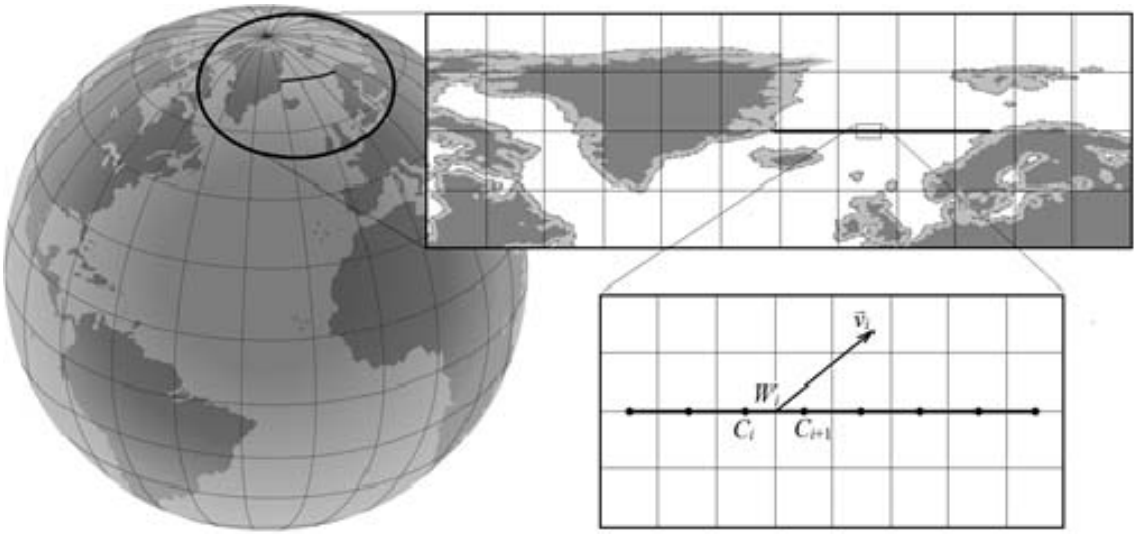


Рисунок 3.1.2.1.1 — Выбор контура для расчёта меридионального переноса скрытого тепла

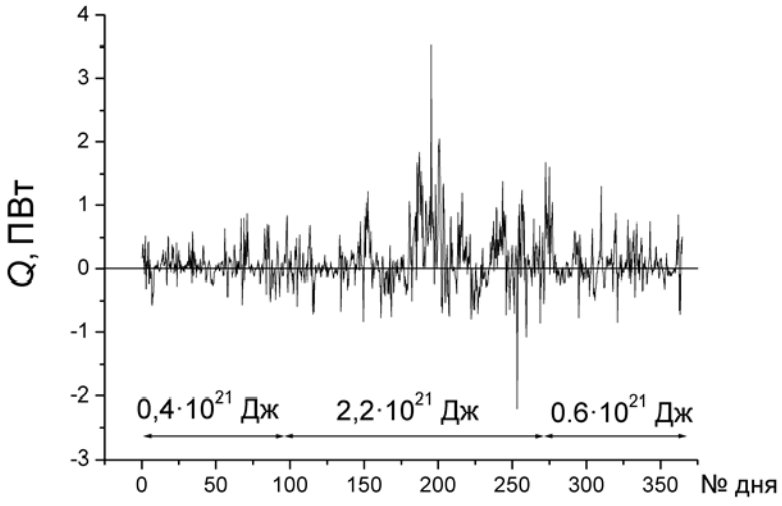


Рисунок 3.1.2.1.2 — Годовой ход меридионального потока скрытого тепла из Атлантики в Арктику через границу, показанную на рисунке 4.3.1.2.1.1 Числа над горизонтальными стрелками — общие объёмы скрытого тепла, прошедшего в Арктику за соответствующие интервалы времени

3.1.2.2 Подготовка и выпуск ТЗ на КЭ Конвергенция и на научную нагрузку для перспективного спутникового комплекса на МКС

В рамках подготовки космического эксперимента «Конвергенция», название которого «Определение детальных профилей температуры и влажности атмосферы при исследовании генезиса атмосферных катастроф» (научный руководитель — д-р физ.-мат. наук Е.А. Шарков), подписано ТЗ на КЭ. В соответствии с решение тематической секции КНТС Роскосмоса КЭ «Конвергенция» введена в «Долгосрочную программу научно-прикладных и следований и экспериментов, планируемых на Российском сегменте МКС», и утверждён сквозной план-график подготовки и проведения КЭ. РКК «Энергия» выдало по план-графику в 2016 г. ТЗ на научную аппаратуру «Конвергенция». В 2016 г. выполнен первый вариант эскизного проекта КЭ «Конвергенция».

3.2 Разработка научных подходов организации дистанционного мониторинга природных катастрофических явлений, риска их возникновения и их последствий (пункт 4.3.2 плана работ на 2016 г.)

3.2.1 Создание базы данных глобального тропического циклогенеза Global-TC за 2016 г. и базы данных за 1987–2015 гг. микроволновых комплексов по программе DMSP

Сформирована научная база данных глобального тропического циклогенеза за 2005–2016 гг. на основе специального препроцессинга (предварительной обработки) исходных «сырых» данных для задач изучения изменчивости климатических параметров планеты. Блок базы данных за 2005–2016 гг. сформирован на основе ежесуточной информации, полученной из Интернета с сайта Астрономической обсерватории Гавайского университета (http://www.solar.ifa.hawaii.edu/). Принципиальной особенностью тропического циклогенеза за 2016 г. стал генезиз целого ряда сильнейших за последние десятилетия в земной атмосфере тропических

циклонов. Это обстоятельство привлекло пристальное внимание многих специалистов-климатологов и послужило рождению целого ряда гипотез о возможном изменении глобальных циркуляционных процессов в системе океан-атмосфера.

3.2.2 Развитие методов формирования научной базы данных глобальных радиотепловых полей системы океан-атмосфера POLE-RT-Fields на основе многолетних данных дистанционного микроволнового зондирования по программам DMSP и Aqua

В 2016 г. было продолжено формирование, накопление и подготовка к тематической обработке частной научной базы данных POLE-RT-Fields, созданной на основе разработанной в отделе «Исследование Земли из космоса» ИКИ РАН базы данных GLOBAL-RT — данных спутниковых многоканальных микроволновых радиотепловых комплексов по программе DMSP (NASA). К настоящему времени накоплены и используются в тематической обработке данные комплекса AQUA — шестиканального двухполяризационного прибора AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer) — за период с 2002 по 2011 г. и данных комплексов программы DMSP — семиканальных микроволновых приборов SSM/I и SMIS (F08-F17) — за период с 1987 по 2016 г, Разработаны пакеты специализированных программ, позволяющих провести предварительную и тематическую обработку. Использование данных, доступных в указанной базе, позволило начать предварительные исследования по динамике ледового покрова в Арктике и Антарктике.

3.2.3 Разработка научных подходов и методов к организации мониторинга вулканической активности с помощью современных систем и технологий спутниковых наблюдений

Быстрое развитие в последние годы специализированных математических моделей открывает новые возможности для анализа и изучения процессов распространения пепловых облаков, оценки их

характеристик и возникающих опасностей. С другой стороны, комплексное использование результатов численного моделирования совместно с информацией постоянного дистанционного мониторинга позволяет развивать новые методы оценки базовых параметров эксплозивных событий (время начала и продолжительность выброса пепла, его высота и т.д.). Осуществить это можно путем выбора оптимальных исходных данных для моделирования конкретных событий на основе минимизации расхождения результатов предварительного моделирования и фактических дистанционных наблюдений.

Для реализации подобного подхода в ИКИ РАН совместно с ИВиС ДВО РАН, ВЦ ДВО РАН и ДЦ НИЦ "Планета" были разработаны специальные подходы и инструменты для проведения совместного анализа спутниковых наблюдений и результатов моделирования перемещения пепловых облаков. Данные подходы и инструменты были реализованы на основе информационной системы (ИС) “Мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил” (VolSatView, http://volcanoes.smislab.ru) и автоматизированной ИС (АИС) “Сигнал”, объединенной системы работы с архивами спутниковых данных НИЦ "Планета" (http://moscow.planeta.smislab.ru/).

В картографическом интерфейсе ИС VolSatView были созданы специальные разделы, предназначенные для удаленной работы с системой моделирования. Они позволяют исследователям сформировать задание на проведение моделирования конкретного события на интересующем его вулкане, передать это задание в АИС “Сигнал”, проследить статус его выполнения и, по завершении, получить доступ к результатам моделирования. При этом можно проводить моделирование с различными параметрами, впоследствии выбирая варианты, наиболее хорошо совпадающие с данными спутниковых наблюдений.

Результаты моделирования представляются в картографическом интерфейсе системы в виде набора точек (частиц пепла), цвет которых

соответствует высоте нахождения пепловых частиц в заданный момент времени. В интерфейсе имеется возможность просмотра результатов (географическое положение частиц и их высота) по каждому шагу моделирования и интересующим высотам.

Результаты расчетов могут визуализироваться в системе совместно с различными информационными продуктами, получаемыми на основе спутниковых данных.

Пример возможности уточнения параметров моделирования приведен на рисунке 3.2.3.1. Для многих труднодоступных вулканов Камчатки и Курил иногда невозможно определить даже базовые параметры извержений, такие как время начала эксплозивного события, высоту пеплового выброса, продолжительность извержения и т.д. С помощью сравнения результатов моделирования распространения пеплового облака и спутниковых данных мы можем попытаться провести уточнение или даже частичное восстановление таких параметров. Рассмотрим эксплозивное событие на вулкане Жупановский 12 февраля 2016 года. Сравнивая результаты моделирования, выполненные для различного времени начала извержения, с состоянием пеплового облака на спутниковых снимках, можно подобрать время (около 20 часов GMT 12.02.2016), при котором будет наблюдаться оптимальное совпадение результатов моделирования и спутниковых наблюдений (рисунок 3.2.3.1.). Следует обратить внимание, что при таких начальных условиях моделирования наблюдается наиболее полное совпадение не только основной области, в которой расположено пепловое облако в момент сравнения (24:00 GMT 12.02.2016), но и его форма и тенденция распространения. При моделировании с более ранним временем начала события облако смещено на юг, а с более поздним - на север по сравнению со спутниковыми данными.

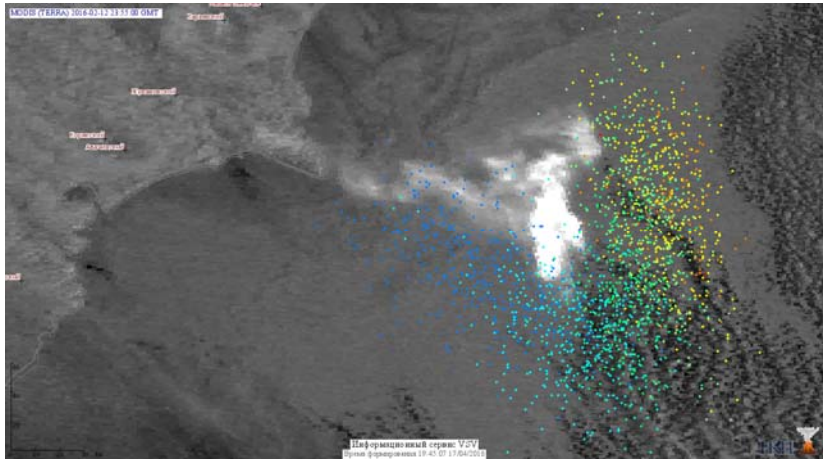
Отметим, что поскольку в ИС VolSatView имеются не одномоментные наблюдения, то можно надеяться, что в перспективе будет возможно построение схемы, позволяющей одновременно уточнять несколько

исходных параметров, необходимых для проведения корректного моделирования пепловых облаков.

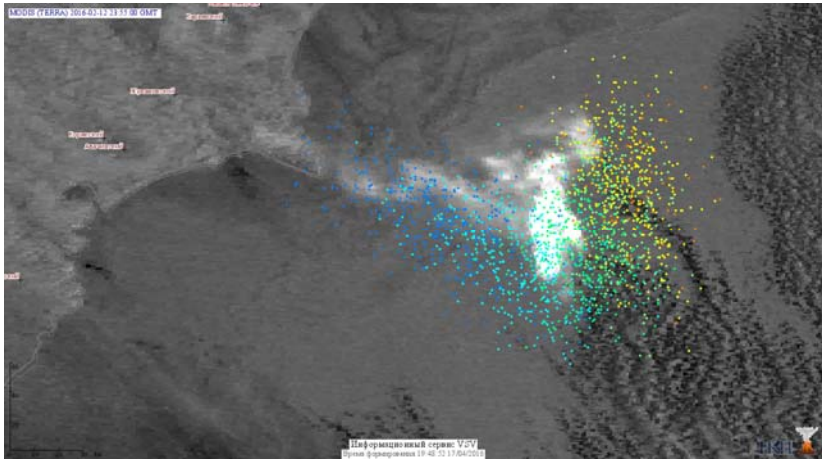
Отметим, что подход к восстановлению или уточнению параметров эксплозивных событий на основе совместного анализа данных дистанционного зондирования и методов математического моделирования широко используется учеными и признается эффективным – позволяет получить дополнительную информацию об извержениях. В то же время, каждое такое исследование требует большой подготовительной работы и наличия соответствующей ИТ-инфраструктуры для сбора, хранения, специализированной обработки и анализа разнородных данных. Именно такая, необходимая для проведения дальнейших исследований инфраструктура и инструменты анализа информации, обеспечивающие эффективную работу с данными дистанционного мониторинга, были сформированы в рамках темы "Мониторинг" в 2016 году. Следует также отметить, что работы по развитию методов и подходов комплексного анализа данных дистанционного мониторинга и результатов численного моделирования развивались при поддержке РНФ (проект № 16-17-00042).

Заключение

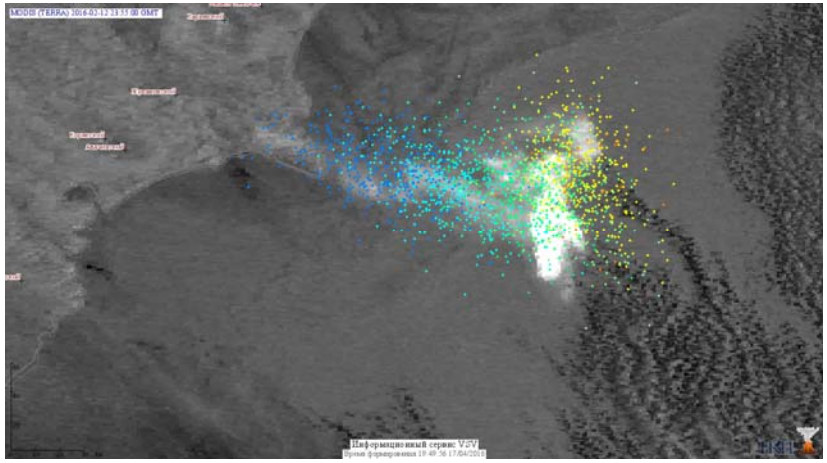
Результаты, представленные в настоящем разделе, показывают, что работы по соответствующим пунктам плана работ ИКИ РАН на 2016 г. выполнены.



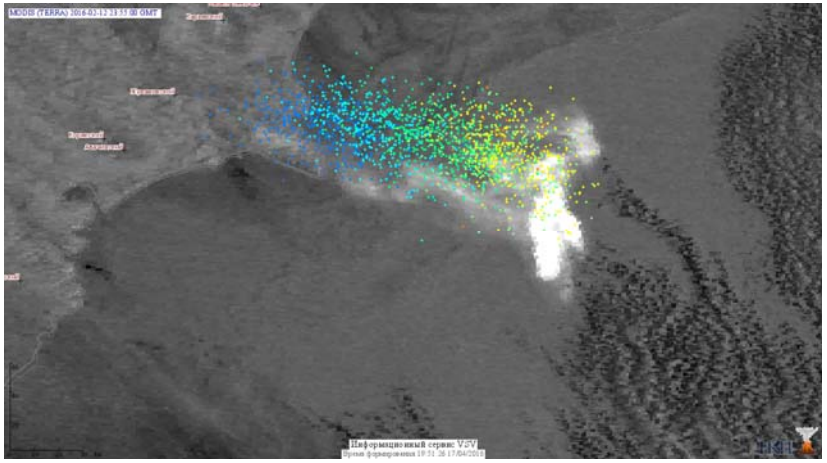
а) Результаты моделирования на время выброса 18:00 GMT 12.02.2016



б) Результаты моделирования на время выброса 19:00 GMT 12.02.2016



в) Результаты моделирования на время выброса 20:00 GMT 12.06.2016



г) Результаты моделирования на время выброса 21:00 GMT 12.06.201

Рисунок 3.2.3.1 - Пример возможности варьирования времени извержения для получения оптимального совпадения результатов моделирования и спутниковых наблюдений. Результаты моделирования распространения пеплового шлейфа, наблюдавшегося на 24:00 GMT после извержения вулкана Жупановский 12 февраля 2016 года. Черно-белые изображения - разница каналов 11-12 мкм по данным прибора MODIS, установленного на спутнике Terra 23:55 GMT 12 февраля 2016 года, точками представлены результаты моделирования

РАЗДЕЛ 4 МОНИТОРИНГ-ОКЕАН

Введение

В 2015 году в рамках работ по теме «Мониторинг» были запланированы следующие работы:

4.4.2 Разработка количественных оценок параметров структурного и экологического состояния морской поверхности на основе многочастотных данных дистанционного микроволнового зондирования из космоса.

В том числе на 2016 г.:

– Разработка и изготовление опытного образца усовершенствованной автоматической поворотной платформы «Траверс-2» с многочастотным радиотепловым комплексом. Подготовка и проведение комплексных испытаний платформы «Траверс-2» с дистанционным комплексом на морской платформе МГИ РАН в Чёрном море (октябрь 2016 г.) в содружестве с целым рядом институтов РАН (ИРЭ РАН, ИФА РАН, МГИ РАН, ИПФ РАН). Исследования параметров спектра ветровых гравитационно-капиллярных волн методом нелинейной радиотепловой резонансной спектроскопии (НРРС).

4.4.3 Развитие методов научного прогноза изменения структурного состояния системы океан-атмосфера под воздействием природных факторов на основе современных и перспективных спутниковых активных микроволновых комплексов.

4.4.5 Разработка методов количественной оценки параметров состояния морской поверхности на больших акваториях и их эволюции на основе многолетних данных дистанционного зондирования из космоса.

4.4.6 Развитие методов научного прогноза изменения экологического состояния водной среды под воздействием природных и антропогенных факторов на основе современных спутниковых данных.

Настоящий раздел посвящён описанию основных результатов, полученных при выполнении данных работ. Полученные в рамках работ 2016 года результаты также изложены в основных публикациях [5-8, 44, 47-51, 82-86, 169-175, 177-182, 184, 190, 191 194, 195, 197-203, 205-207].

4.1 Разработка методик микроволновых исследований нелинейной динамики морских волнений и экологического состояния водной среды с применением современных радиолокационных и скаттерометрических микроволновых комплексов (пункт 4.4.2 плана работ на 2016 г.)

4.1.1 Разработка и изготовление опытного образца усовершенствованной автоматической поворотной платформы «Траверс-2» с многочастотным радиотепловым комплексом. Подготовка и проведение комплексных испытаний платформы «Траверс-2» с дистанционным комплексом на морской платформе МГИ РАН в Чёрном море (октябрь 2016 г.). Исследования параметров спектра ветровых гравитационно-капиллярных волн методом нелинейной радиотепловой резонансной спектроскопии (НРРС)

В сентябре-октябре 2016 г. были проведены радиофизические исследования морской поверхности и атмосферы на Черноморском гидрофизическом полигоне РАН (ЧГП РАН), расположенном на южной оконечности п-ва Крым в пос. Кацивели, Республика Крым. Эксперименты проводились на гидрофизической платформе, которая находится в Голубой бухте и отстоит от берега на расстоянии около 600 м. В задачи экспериментальных работ входило исследование гравитационно-капиллярного волнения (ГКВ) и температурно-влажностных характеристик пограничного слоя атмосферы в различных метеоусловиях; проверка разностного радиометрического метода определения температурно-влажностных параметров атмосферы; а также испытание новой поворотной платформы «Траверс-2» и новой программы управления платформой и регистрации данных. Кроме того в первые проводились натурные испытания нового радиометра-спектрометра ИРЭ РАН сканирующего по частоте от 18,8 до 26,2 ГГц.

Новая поворотная платформа «Траверс-2» была сконструирована и изготовлена в ИКИ РАН. Платформа имеет механизмы вращения на основе червячных редукторов по азимуту и два независимых — по углу места. Возможность вращения по азимуту обеспечивается в пределах 300°, а по углу места — 200° с помощью шаговых двигателей с точностью 0,1°. Движение платформой осуществляется модулем управления на основе микропроцессор ATmega128, который перед началом работы проводит калибровку углов, управляет вращением редукторов в ручном и автоматическом режимах.

Комплекс радиометрической аппаратуры, который был установлен на поворотную платформу «Траверс-2», представлен в таблице 4.2.1. «Траверс-2» была установлена на юго-западном углу чуть выше верхней палубы гидрофизической платформы на высоте 16 м над уровнем моря, крепилась на мощное основание сваренное из швеллеров, к которому были прикручены направляющие рельсы таким образом, что обеспечивалась возможность выдвигать поворотную платформу для измерений максимально далеко от конструкций гидрофизической платформы и задвигать её, когда требовались установочные или ремонтные работы. На рисунке 4.1.1 приведена фотография поворотной платформы «Траверс-2» с комплексом радиофизической аппаратуры.

Таблица 4.2.1

№ п/п	Прибор	Диапазон длин волн	Поляризация	Ширина луча, град	Чувствительность, K
1	Р-03	3 мм	Г	9	0,15
2	Р-05	5 мм	Г	7	0,08
3	Р08П1	8 мм	В, Г, ±45°	9	0,1
4	Р08П2	8 мм	В, Г, ±45°	9	0,1
5	Р-ИК	8–12 мкм	–	1	0,1

6	Радиометр-спектрометр ИРЭ-РАН	11–16 мм	В	5	0,05

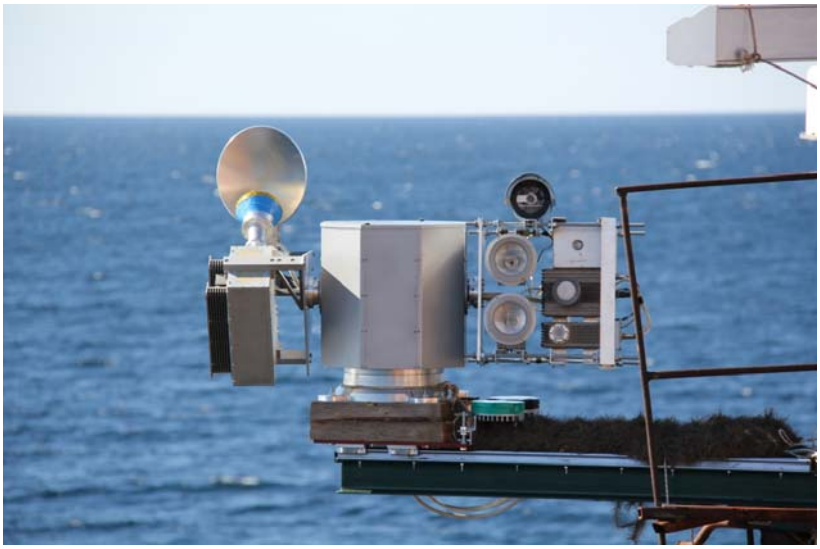


Рисунок 4.1.1 — Поворотная платформа «Траверс-2» с установленным многочастотным радиотепловым комплексом. В центре снимка — механическая часть и автоматизированный управляющий блок поворотной платформы «Траверс-2»; слева — радиометр-спектрометр; справа — комплекс миллиметровой радиотепловой аппаратуры (№ 1–5 из таблицы 4.2.1)

В выполненных экспериментах проводилось измерение радияркостной температуры системы море-атмосфера в азимутально-угломестном секторе для определения параметров гравитационно-капиллярного волнения (ГКВ) и азимутальной зависимости коэффициента анизотропии, а так же для определения параметров атмосферы с целью проверки разностно-дифференциального метода. Для определения экологического состояния морской поверхности периодически выполнялись контактные измерения физико-химических свойств морской воды, в частности, измерения коэффициента поверхностного натяжения поверхностного слоя воды с интервалом три часа.

В настоящее время все полученные исходные экспериментальные материалы находятся в стадии первичной обработки.

Развиваемый коллективом сотрудников отдела исследования Земли из космоса метод НРРС предоставляет уникальную возможность определения спектральных характеристик ветрового волнения на основе дистанционных измерений частично поляризованного собственного излучения морской поверхности. К достоинствам метода НРРС относятся: неинвазивность, определение абсолютных значений амплитуды спектральных компонент, возможность проведения исследований в любое время суток и практически при любых метеоусловиях, относительную простоту развёртывания измерительного оборудования и понятность реализуемых измерений, восстановления абсолютных высот различных спектральных компонент, возможность on-line обработки данных измерений и контроля за состоянием поверхности в режиме реального времени и т.д.

Одной из задач, решаемых коллективом лаборатории № 553 ИКИ РАН в 2016 г., стало рассмотрение вопроса о влиянии нисходящего излучения атмосферы на результаты восстановления спектральных характеристик волнения методом НРРС, при реализации натурных исследований.

Было проведено сравнение двух способов учёта этой составляющей при обработке данных наземно-дистанционных экспериментальных исследований морской поверхности. В первом случае излучение небосвода рассчитывалось в соответствии с плоскослоистой моделью атмосферы, основными параметрами которой являются термодинамическая температура приводного слоя атмосферы и значение её интегрального поглощения на частоте принимаемого излучения. Второй вариант учёта предполагал использование непосредственно данных радиометрических измерений на углах от горизонта до зенита. Для анализа были использованы данные радиополяриметрических измерений интенсивности уходящего излучения морской поверхности, полученные в ходе реализации международного натурного эксперимента “CAPMOS” (Combined Active/Passive Microwave Measurements of Wind Waves for Global Ocean Salinity Monitoring) в 2005, 2007, 2009 и 2012 гг. На примере задачи восстановления параметров спектра гравитационно-капиллярных волн (методом НРРС) было показано, что

смена варианта учета подсвета атмосферы приводит к кардинальным изменениям восстанавливаемых параметров. Так, при наличии облачности и других метео-образований было выявлено двукратное расхождение в оценках амплитуды спектрального максимума и более чем десятикратная разница восстановленных значений дисперсии уклонов крупных волн (рисунок 4.1.2).

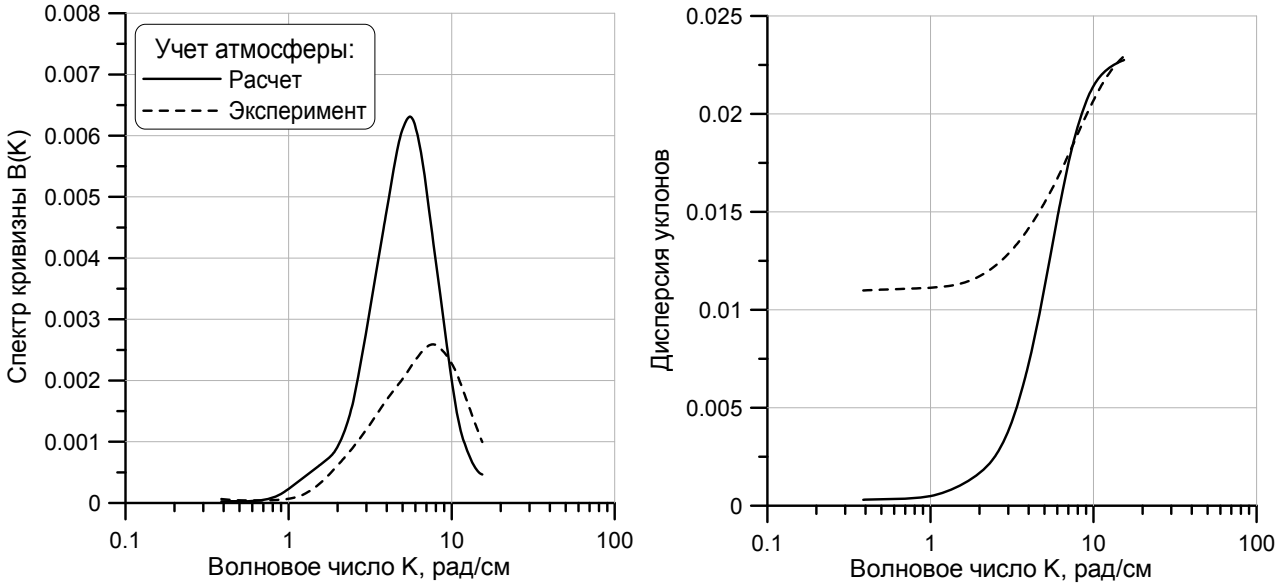


Рисунок 4.1.2 — Параметры ветровых ГКВ, восстановленных с применение метода НРРС

Решением данной проблемы может стать независимая проработка следующих вопросов: во-первых, корректировка программ сканирования при сборе экспериментальных данных, расширяющих диапазон вертикальных углов визирования. Это позволит получать актуальную информацию о величине подсвета атмосферы на углах от горизонта до зенита и отказаться от использования её модельных оценок. Во-вторых, на случай, когда получение подобной информации невозможно (из-за особенностей расположения измерительного оборудования), необходимо привлечение более сложных и совершенных моделей излучения атмосферы. Третьим направлением работы является необходимость доработки существующего алгоритма реализации метода НРРС с учётом выявленных особенностей.

4.2 Развитие методов научного прогноза изменения структурного состояния системы океан-атмосфера под воздействием природных факторов на основе современных и перспективных спутниковых активных микроволновых комплексов (пункт 4.4.3 плана работ на 2016 г.)

Проведены работы по разработке методов построения научного прогноза изменения структурного состояния системы океан-атмосфера под воздействием природных факторов, основанных на работе с данными постоянно совершенствующихся и развивающихся систем наблюдения. Экспериментальную основу исследования составляют данные радиолокаторов с синтезированной апертурой С-диапазона длин волн с центральной частотой 5,405 ГГц (5,55 см), установленных на европейских спутниках Sentinel-1A (выведен на орбиту 3 апреля 2014 г.), Sentinel-1B (выведен на орбиту 26 апреля 2016 г.) и SAR канадского спутника Radarsat-2. Радиолокационное изучение процессов в пограничном слое атмосферы представляет особый интерес ввиду того, что здесь сосредоточен турбулентный энергообмен, обеспечивающий приток энергии к крупномасштабным атмосферным движениям, и развивается цепь неустойчивых состояний, сопровождающих процесс взаимодействия океана и атмосферы. Дополнительно используются данные сенсоров видимого и инфракрасного диапазонов OLI/TIRS Landsat-8 (11 февраля 2013 г.), и MSI Sentinel-2 (23 июня 2015 г). Разработаны новые и усовершенствованы существующие критерии совместного анализа данных, получаемых различными сенсорами, развиты методы извлечения взаимодополняющей геофизической информации из данных спутникового зондирования морской поверхности и прилежащего к ней слоя атмосферы. При разработке методов комплексно используются как возможности достаточно традиционных систем низкого, среднего и высокого разрешения, так и создающихся систем принципиально нового класса.

С целью отработки методик проведено экспериментальное исследование пространственно-временной структуры и динамики волн, вихрей и вихревых

дорожек, образующихся в атмосфере над океаном. Использование данных с высоким пространственным разрешением (единицы метров) позволяет выявлять тонкую структуру атмосферных процессов и рассматривать вопрос о передаче энергии мелкомасштабных движений в область более крупных масштабов. На рисунках 4.2.1 и 4.2.2 представлен пример совместного анализа разнородных спутниковых данных, отражающих факт прохождения атмосферного циклона над Балтийским морем.

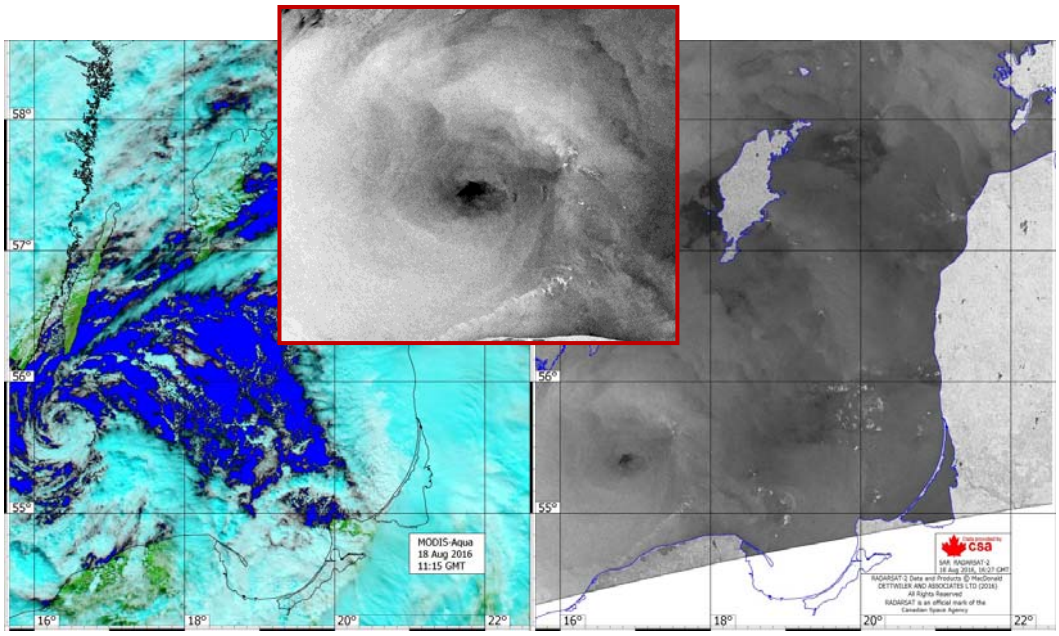


Рисунок 4.2.1 — Сопоставление РЛИ Radarsat-2 и цветосинтезированного изображения оптического многоспектрального спектрорадиометра MODIS Aqua позволило выявить траекторию движения циклона и оценить скорость его перемещения. Центр циклона смещался в юго-восточном направлении со средней скоростью 9,6 км/ч

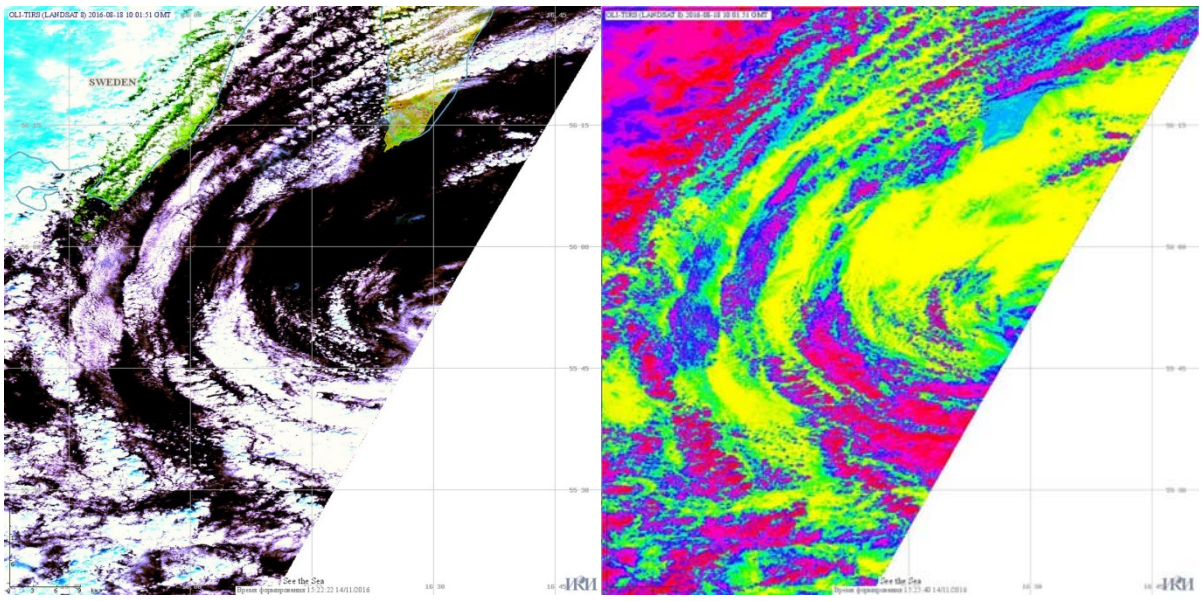


Рисунок 4.2.2 — Цветосинтезированное в псевдоцветах по данным сенсора MSI Sentinel-2 изображение (слева) и результат его классификации (справа) позволяют выявить тонкие структурные характеристики атмосферного циклонического вихря

4.3 Разработка методов количественной оценки параметров состояния морской поверхности на больших акваториях и их эволюции на основе многолетних данных дистанционного зондирования из космоса (пункт 4.4.5 плана работ на 2016 г.)

Проведено дальнейшее усовершенствование методики количественной оценки параметров состояния морской поверхности и проведена её апробация для определения параметров внутренних волн в Лионском заливе (Средиземное море). Использование данных новейшего сенсора MSI Sentinel-2A (Европейское космическое агентство), позволило изучить картину поверхностных проявлений цугов внутренних волн с детальной точностью, недоступной в прежних исследованиях. Многолетние данные спутникового радиолокационного зондирования и данные видимого диапазона были использованы для определения районов проявлений внутренних волн (рисунок 4.3.1) и сделать предположения об источниках их генерации. Было выявлено, что существует два основных механизма генерации цугов внутренних волн в Лионском заливе и соответственно связанные с ними два района регулярных проявлений цугов

внутренних волн. А именно: генерация внутренних волн при взаимодействии внутреннего прилива с неоднородностями дна на краях подводных каньонов; и генерация цугов внутренних волн нестационарными фронтами, связанными с распространением распреснённых вод Большой и Малой Роны.

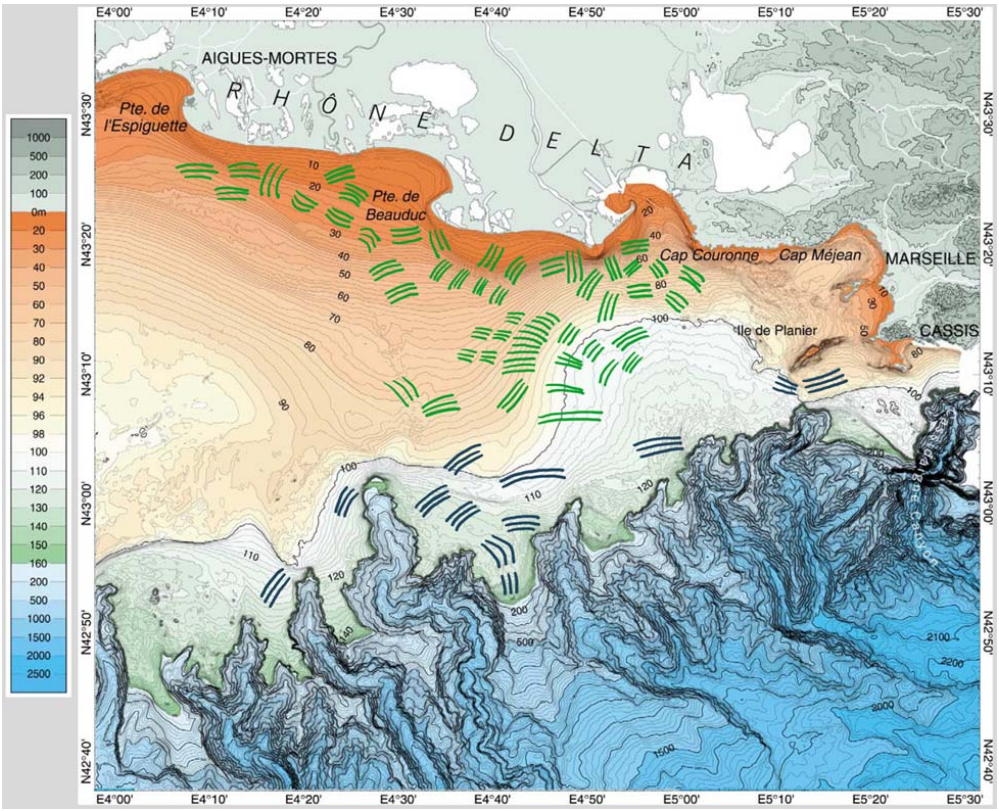
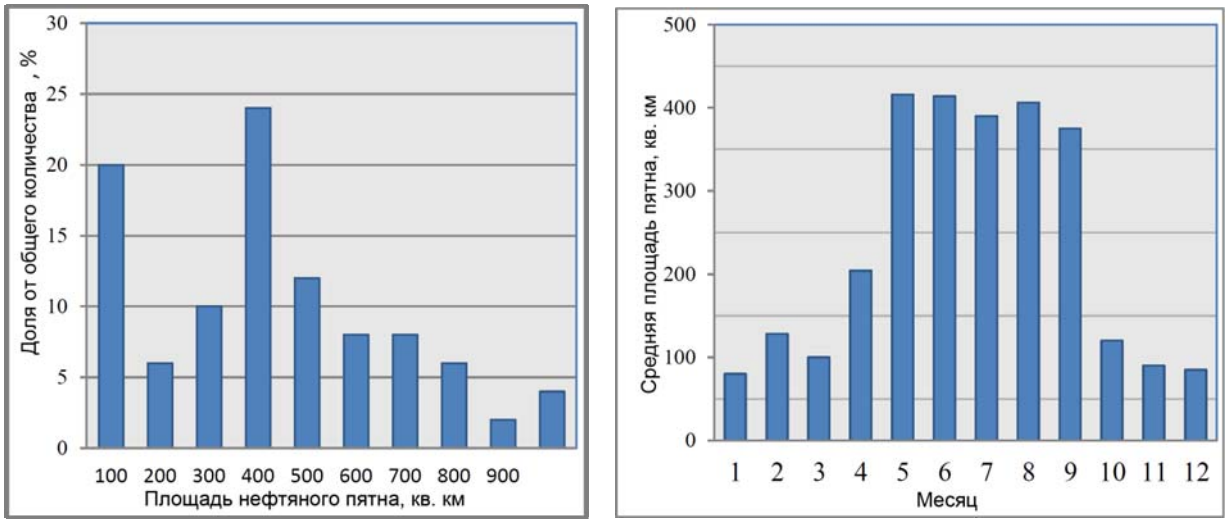


Рисунок 4.3.1 — Расположения фронтов цугов внутренних волн, выявленных изображениях на спутниковых изображениях MSI Sentinel-2A в 2015–2016 гг. Чёрным цветом отмечены поверхностные проявления внутренних волн, район генерации которых приходится на край подводных каньонов; зелёным — цуги, проявляющиеся в районах выносов Большой Малой Роны. Морфо-батиметрическая карта Лионского залива взята из работы *Bernéa S, Gorinib C.* The Gulf of Lions: An overview of recent studies within the French ‘Margins’ programme // Marine and Petroleum Geology. 2005. V. 22. Iss. 6–7. P. 691–693. URL: http://dx.doi.org/ 10.1016/j.marpetgeo.2005.04.004

4.4 Развитие методов научного прогноза изменения экологического состояния водной среды под воздействием природных и антропогенных факторов на основе современных спутниковых данных (пункт 4.4.6 плана работ на 2016 г.)

Усовершенствованы методы прогнозирования изменения экологического состояния водной среды под воздействием природных и антропогенных факторов на основе современных спутниковых данных, предоставляющих информацию в различных диапазонах электромагнитного спектра. Эти методы опробованы для акватории Каспийского моря с использованием данных за пятнадцатилетний период времени (2001–2016). Использовались, как архивные данные, полученные сенсорами спутников серии Landsat, SAR ERS-1,2, ASAR Envisat, MODIS Terra/Aqua, MERIS Envisat, так и оперативные данные новейших приборов спутникового базирования: SAR-C Sentinel-1A, B; MSI Sentinel-2A. Обработка и анализ всей совокупности спутниковых данных проводилась с использованием созданного и усовершенствованного в ИКИ РАН геопортала “See the Sea”. На основе разработанных методик проводилась оценка загрязнения поверхности Среднего и Южного Каспия нефтесодержащими плёнками. Выявлено три основных источника антропогенных загрязнений: сбросы с судов льяльных вод, нефтяные загрязнения, связанные с технологическими работами на нефтедобывающих платформах и грязевой вулканизмы (грифоны). Определены характерные размеры акваторий, подверженных нефтяным загрязнениям в районах нефтедобычи (рисунок 4.4.1*а*), и распределение выявленных загрязнений по месяцам (рисунок 4.4.1*б*). Межгодовая изменчивость выражена слабо. Увеличение площадей нефтяных загрязнений в последние годы может быть объяснено, как естественными факторами: увеличением поступления нефти при разведочном бурении и разработке новых скважин; так и улучшением параметров приборов спутникового базирования, данные которых использовались в проведении мониторинга, позволяющие проводить комплексные наблюдения с высокими пространственным разрешением.



а *б*

Рисунок 4.4.1 — Статистические данные за 2001–2016 гг. о нефтяных загрязнениях в районах нефтедобычи в Среднем Каспии: *а* — распределение размеров нефтяных пятен; *б* — распределение выявленных нефтяных пятен по месяцам

Межгодовая изменчивость проявления грифонов на спутниковых изображениях Южного Каспия не обнаружена.

Заключение

Результаты, представленные в настоящем разделе, показывают, что работы по соответствующим пунктам плана работ ИКИ РАН на 2016 г. выполнены.

РАЗДЕЛ 5 МОНИТОРИНГ-АТМОСФЕРА

Введение

Направления работ по разделу Мониторинг-Атмосфера в 2016 г. содержат следующие подразделы :

4.5.1 Разработка научных основ и автоматизированных методов и технологий обработки временных серий спутниковых наблюдений различного пространственного разрешения для решения комплекса задач исследований и мониторинга атмосферы;

4.5.2 Развитие теоретических моделей, анализ физических механизмов, разработка и применение алгоритмов обработки натурных данных в целях мониторинга и прогноза состояний атмосферы, включая выявление закономерностей формирования и последующей динамики мощных вихревых структур в атмосфере Земли с учетом зональных ветров, фазовых переходов влаги;

4.5.3. Развитие методик анализа характеристик электрической турбулентности в грозовой облачности для выявления ее роли в динамике долгоживущих долгоживущих спиральных вихрей;

4.5.4. Разработка и применение алгоритмов обработки натурных данных, средств исследований состояний атмосферы, в том числе методик дистанционного определения характеристик облачности на основе измерений собственного ИК-излучения атмосферы и отраженной солнечной радиации:

4.5.5 Развитие методов определения микрофизических свойств рассеивающих сред, включая атмосферу, на основе использования двухпозиционных схем лидарного зондирования;

4.5.6 Развитие теоретических моделей, анализ физических механизмов в целях разработки средств исследований гидросферы и атмосферы, в том числе для выявления долгопериодических вариаций и зависимости их от внешних факторов.

Развитие указанных исследований необходимо для разработки современных методик получения экспериментальных данных при мониторинге атмосфере, развития измерительной аппаратуры, разработке соответствующих моделей описания атмосферных процессов, поиску возможностей воздействия на кризисные процессы и пр.

В план работ на 2016 год включено решение следующих задач.

Раздел 4.5.1. Анализ экспериментальных данных по электрической турбулентности в грозовой облачности. Разработка аналитических моделей и на их основе исследование влияния перемежаемости и когерентных структур на скейлинги структурных функций электрической турбулентности. Анализ роли электрической турбулентности в динамике спиральных долгоживущих вихрей.
Исп. Ерохин Н.С., Артеха С.Н.

Раздел 4.5.2. Провести на основе малопараметрической модели циклогенеза анализ влияния короткопериодных вариаций фоновой обстановки на динамику крупномасштабных вихрей в атмосфере и гидросфере. Продолжить исследование закономерностей формирования и последующей динамики мощных вихревых структур в атмосфере Земли с учетом зональных ветров и фазовых переходов влаги. Отв.исп. Ерохин Н.С.

На основе анализа данных наблюдений продолжить исследование связи различных компонент природного радиоактивного фона с климатическими и метеорологическими явлениями в атмосфере. Продолжить анализ результатов восстановления потоков радиации на основе статистических характеристик угловых распределений яркости различных земных образований и облачности в целях их использования в космической метеорологии для пересчёта интегральных интенсивностей от объекта в поле зрения прибора наблюдения. Отв.исп. Гусев А.А., Князев Н.А.

Продолжить анализ влияния неоднородных зональных ветров на распространение нелинейных внутренних гравитационных волн (ВГВ) в атмосфере и их прохождение в ионосферу.

Исп. Ерохин Н.С., Шалимов С.Л.

Будет развита новая гидродинамическая модель нелинейной стадии генерации пылевых дьяволов (ПД) в конвективно-неустойчивом слое атмосферы с зародышевой крупномасштабной вертикальной завихренностью. Полученные результаты позволят обобщить предыдущие исследования ПД, ограниченные радиальным расстоянием много меньше или много больше характерного радиуса вихря. Будет показано, что в такой атмосфере конвективное движение в атмосфере чрезвычайно быстро (в течение нескольких секунд или даже долей секунд) трансформируется в структуру ПД с сильной мелкомасштабной вертикальной завихренностью. Полученные результаты будут использованы для интерпретации наблюдений ПД на Земле и на Марсе.

В магнитогидродинамическом приближении будет исследован возможный механизм генерации магнитных вихрей в слоях солнечной фотосферы с суперадиабатическим градиентом температуры. Будет выведена замкнутая система нелинейных уравнений описывающая осесимметричные вихревые структуры в такой плазме. Полученные результаты будут использованы для интерпретации наблюдений спикул в солнечной фотосфере и для интерпретации нагрева солнечной короны.

Отв.исп. Астафьева Н.М., Онищенко О.Г.

Будут проведены исследования характеристик атмосферной турбулентности в зависимости от масштаба эффективного функционала действия, получаемого в рамках квантово-полевого подхода к теоретической модели развитой гидродинамической турбулентности на основе методов ренорм группы и непрерывного вейвлет-преобразования. Отв.исп. Алтайский М.В.

Раздел 4.5.3. Продолжить развитие научных основ и автоматизированных методов и технологий обработки временных выборок данных ИК и СВЧ спутниковых наблюдений с различным пространственным разрешением для исследований характеристик и мониторинга атмосферы. Продолжение работ по использованию данных фурье-спектрометра с ИСЗ ″Метеор″ для задачи зондирования атмосферы и земной поверхности. Отв.исп. Городецкий

Раздел 4.5.4. Анализ закономерностей формирования и последующей динамики мощных вихревых структур в атмосфере от фазовых переходов влаги и восточных волн. Исследование формирования циклонических вихрей тропической атмосферы Земли во внутритропической зоне конвергенции. Отв.исп. Князев Н.А.

Продолжить экспериментальные исследования и разработку теоретической модели статистических характеристик турбулентных пульсаций давления и турбулентных шумов на обтекаемой потоком поверхности**.** Отв.исп. Кудашев Е.Б., Лазарев А.А.

Выполнить диагностику зарождения тропических циклонов для нескольких сценариев: а) реализованных с помощью идеализированного облачно-разрешающего численного моделирования и б) реально наблюдавшихся в натурных условиях. Отв.исп. Левина Г.В.

К настоящему времени по нестационарному полю турбулентных пульсаций давления накоплен значи-тельный объем экспериментальных данных. Однако при регистрации турбу-лентных пульсаций давления необходимо исключить искажение турбулентных спектров на высоких частотах из-за осреднения мелкомасштабных турбулентных пульсаций (ТП). В этой связи будет выполнен анализ параметров ТП, разработаны модели и получены частотные характеристики спектра мощности и взаимного спектра (информация об узкополосной пространственной корреляции) турбулентных давлений, которые представляют особое значение для приложений. Для решения проблемы восстановления неискаженных турбулентных спектров необходимо получить достоверную информацию о параметрах поля ТП давления в пограничном слое, действующих на обтекаемую поверхность. Частотный спектр псевдозвуковых (в смысле академика Д.И. Блохинцева, назвавшего их псевдозвуком) турбулентных пульсаций давления в пограничном слое является одной из важнейших статистических характеристик, которая необходима для разработки обобщенной характеристики разрешающей способности регистрации турбулентных

пульсаций при воздействии акустических шумов, вибраций и температурных полей. Отв.исп. Кудашев Е.Б.

Продолжить исследование моделей взаимодействия неподвижных и блокированных волн Россби с неоднородными зональными течениями в атмосфере, зависимости формирующихся структур от характеристик неоднородности. Дальнейшее развитие современных каскадных моделей турбулентности атмосферы, описывающих нарушение симметрии компонент спиральности. Отв.исп. Чхетиани О.Г.

Раздел 4.5.5. Дальнейшее развитие алгоритмов обработки экспериментальных данных по измерениям собственного ИК-излучения атмосферы и отраженной солнечной радиации облачности в целях определения характеристик облачности на основе дистанционных методов. Отв.исп. Князев Н.А. Продолжение работ по использованию ИК-радиометрии и спектрорадиометрии с ИСЗ для задачи зондирования атмосферы и земной поверхности. Отв.исп. Городецкий А.К. Продолжение исследований угловой структуры полей радиации в видимой области спектра на основе данных ИСЗ. Отв. исп. Козлов Д.А.

Раздел 4.5.6. Провести исследование выбора комбинированной модуляции мощности диодного лазера в задаче создания составной зондирующей системы с оптимальным режимом калибровки. Отв.исп. Арумов Г.П.

Полученные в 2016 г. результаты подробно изложены в списках публикаций в иностранных и российских журналах, а также в материалах различных конференций, проходивших в 2016 году, приведенных в конце отчета [6, 11-16, 19, 20, 37, 38, 45, 55-66, 87-101, 97, 166-168, 185, 186, 192, 208-223].

Основные результаты проведенных по темам в 2016 году работ кратко сформулированы ниже.

5.1 Разработка научных основ и автоматизированных методов и технологий обработки временных серий спутниковых наблюдений различного пространственного разрешения для решения комплекса задач исследований и мониторинга атмосферы (пункт 4.5.1 плана работ на 2016 г.)

5.1.1 Многомасштабная теория турбулентности и вейвлет-представление

Проблема зависимости эффективной вязкости турбулентных пульсаций от масштаба измерения приобрела большое значение в связи с разработкой квантово-полевого описания развитой гидродинамической турбулентности в 70-х годах прошлого века (Крейчнан, Орсзаг, Львов и др.), и анализом возможности применения Вильсоновской теории фазовых переходов, основанной на ренормализационной группе, к описанию развитой гидродинамической турбулентности. С тех пор опубликовано большое число работ, посвященных вычислению парного коррелятора скорости <u(x)u(x')> (энергия флуктуаций) и трехточечного коррелятора <u'(x')u(x)u(x")> с помощью метода ренормализационной группы. Полученные результаты, кроме колмогоровского параметра темпа диссипации энергии ε, зависят от масштаба нормировки μ и импульса k. Колмогоровский скейлинг в таком подходе получается в фиксированной точке ренормализационной группы, а зависимость вязкости от масштаба $\nu = \nu(k)$ справедлива в ИК пределе. Однако полные выражения для энергии турбулентности при этом расходятся. Альтернативный многомасштабный подход, основанный на проектировании турбулентных флуктуаций u(x) на фиксированную базисную функцию g(x), масштабируемую на различные масштабы в интервале $\eta < a < L$, был предложен в работе: М.В.Алтайский. Многомасштабная теория турбулентности в вейвлет-представлении, Доклады РАН, 2006, т.410, с.326-330. В этом подходе для построения непертурбативных соотношений в многомасштабном анализе вычисляется функционал эффективного действия Γ[u] для многомасштабных полей $u_a(x)$, и затем получаются уравнения ренормализационной группы, для параметров, определяющих указанный функционал. Далее, используя функционал эффективного действия, в 1-петлевом приближении, с базисной

функцией [x exp(- x^2/2)], были вычислены первые поправки к вязкости $\Sigma_{ij}(k,L)$, где L - масштаб внешней случайной силы, возбуждающей турбулентность в несжимаемой жидкости. Таким образом вполне обоснованно получается много-масштабная теория турбулентности в динамике возмущений в атмосфере. Это позволит реализовать современную модель обработки экспериментальных данных на основе многомасштабной теории турбуленбтности и давать корректную интерпретацию полученных с ее помощью результатов.

5.2 Развитие теоретических моделей, анализ физических механизмов, разработка и применение алгоритмов обработки натурных данных в целях мониторинга и прогноза состояний атмосферы, включая выявление закономерностей формирования и последующей динамики мощных вихревых структур в атмосфере Земли с учетом зональных ветров, фазовых переходов влаги (пункт 4.5.2 плана работ на 2016 г.)

5.2.1 О возможности измерения оптической толщины атмосферы Земли с ИСЗ

На основе проведенного анализа статистических характеристик угловых распределений яркости по архивным данным спутниковых измерений скани-рующим фотометром отраженного солнечного излучения в ближней ИК-области спектра разработан новый метод определения оптической толщины атмосферы Земли аппаратурой, расположенной на спутнике. Для этого предлагается использовать измерения спутниковой аппаратурой интенсивностей в двух симметричных относительно зенита (надира) точках неба в плоскости близких (± 20º) к солнечной вертикали углов.

5.2.2 Расчеты на основе малопараметрической модели динамики крупномасштабного циклогенеза при быстрых вариациях фоновой обстановки

Проведено дальнейшее обобщение нелинейной МПМ для описания возможности вариаций скорости ветра в тропических циклонах на квазистационарной стадии их жизненного цикла. Численными расчетами

показано, что на основе обобщенной малопараметрической, нелинейной модели можно исследовать особенности динамики региональных крупномасштабных циклогенезов в период активного сезона, изучать их зависимость от различных внешних факторов, например, вариаций космической погоды и др., которые ранее рассматривались на основе стандартного метода корреляционного анализа. Проведенный численный анализ решений МПМ выявил заметную чувствительность сценария динамики регионального циклогенеза к изменению величин исходных параметров. Следовательно, развиваемый подход к исследованию РКЦ позволяет оптимизировать выбор параметров модели для заданного годового интервала, чтобы описать число образовавшихся ТЦ, времена их существования, максимальные скорости ветров и другие характеристики, которые должны соответствовать параметрам ТЦ в имеющихся базах данным наблюдений Представляет интерес учет в последующем анализе крупномасштабного циклогенеза существенной роли заряженных подсистем мощных атмосферных вихрей, спиральности ветровых потоков, выделения скрытой теплоты фазовых преобразований атмосферной влаги. Развиваемый подход к исследованию динамики РКЦ на основе нелинейной МПМ с учетом экспериментальных данных по характеристикам крупномасштабных тропических возмущений типа тайфунов позволит получить модель сезонного хода интенсивности циклогенеза в конкретном регионе, что представляет большой научный и практический интерес в том числе для разработки современных методов прогноза крупномасштабных кризисных атмосферных явлений и моделирования их связей с другими процессами

5.2.3 Диагностика зарождения тропических циклонов для нескольких сценариев: а) реализованных с помощью идеализированного облачно-разрешающего численного моделирования и б) реально наблюдавшихся в натурных условиях

Подробно изучены два сценария тропического циклогенеза: а) с заданным начальным вихревым возмущением, б) при его отсутствии. Важной

особенностью численных экспериментов являлся кратковременный, в течение 300 сек, начальный локальный подогрев на нижних уровнях с целью ускоренного развития облачной конвекции. При такой постановке задачи удалось наблюдать формирование единичной интенсивно вращающейся конвективной структуры до 13 км по высоте, образующейся и достигающей максимальной активности в первые 2-3 часа численного эксперимента. Исследован механизм генерации и усиления вертикальной завихренности, основанный на взаимодействии конвекции и вертикального сдвига горизонтальной скорости. Показано, что этот механизм также является эффективным средством генерации спиральности. Проведено количественное сравнение результатов для двух вышеуказанных сценариев.

5.2.4 Моделирование прохождения крупномасштабных ВГВ из тропосферы в ионосферу

На основе двумерных численных расчетов траекторий внутренних гравитационных волн (ВГВ) рассмотрено распространение ВГВ в неоднородной по вертикали атмосфере с тропосферных высот в ионосферу при наличии зональных потоков с учетом их неоднородности по высоте. В тропосфере внутренние гравитационные волны могут возбуждаться при развитии процессов типа крупномасштабных вихрей, землетрясений и пр. Для ряда данных по высотным профилям частоты Вяйляля-Брента и высотному профилю скорости зонального потока в атмосфере выполнен анализ возможности прохождения мелкомасштабных и среднемасшабных ВГВ из тропосферы в ионосферу на высоты более 80 км. В зависимости от параметров ВГВ и зонального потока в атмосфере возможны различные варианты распространения ВГВ в вертикально неоднородной системе тропосфера-ионосфера. В частности, при наличии зонального ветра возможно волноводное распространение ВГВ, запертой между двумя слоями по высоте, на большие расстояния по горизонтали. При наличии в атмосфере критических слоев или слоев вертикального отражения прохождение

ВГВ в ионосферу невозможно. Согласно численным расчетам горизонтальное смещение пакета ВГВ может быть большим и быть порядка тысяч километров. Поэтому при реализации прохождения ВГВ из тропосферы на ионосферные высоты предвестники кризисных событий в ионосфере могут наблюдаться спутниковой аппаратурой на больших расстояниях по горизонтали от источника генерации внутренних гравитационных волн. Это обстоятельство следует учитывать при анализе и интерпретации экспериментальных данных по связи ионосферных возмущений с кризисными событиями в тропосфере, например, землетрясениями, тропическими циклонами и пр.

5.2.5 Изучение механизмов генерации и эволюции вихревых дьяволов

Исследования в 2016 г. были посвящены изучению механизмов генерации и эволюции вихревых дьяволов (мощных атмосферных вихрей). Пылевые дьяволы – удивительное атмосферное явление. В отличие от торнадо, такие вихревые структуры не связаны с грозовой деятельностью и возникают в приповерхностном слое днем в жаркую безоблачную погоду. Согласно современным представлениям пылевые вихри могут служить зародышами пылевых бурь. Вихри со спиралевидным восходящим потоком переносят пыль на большие высоты. Пыль, подхваченная ветром, переносятся на большие расстояния, оказывая существенное влияние на глобальный и региональный климат. Влияние пыли и аэрозолей на изменение климата в прошлом, настоящем и будущем является одним из слабо изученных процессов.

В рамках гидродинамической модели исследована генерация пылевых дьяволов в конвективно неустойчивой атмосфере. Проведено численное моделирование динамики сложной трехмерной нестационарной вихревой структуры с учетом подхваченных вихрем частиц пыли, а также эффектов вязкости и теплопроводности. Исследовано влияние неоднородного ветра на процесс генерации вихрей. Разработанный численный код может быть использован при построении модели общей циркуляции в запыленной атмосфере. Показано, что в атмосфере с зародышевым медленным крупномасштабным движением

(вращением вдоль вертикальной оси) из конвективных ячеек генерируются мелкомасштабные вихри с сильным тороидальным вращением. Используя полученное точное аналитическое решение идеальной гидродинамики, исследована структура вертикальной завихренности и тороидальной скорости атмосферного вихря. Полученные результаты находятся в хорошем согласии с существующими наблюдениями пылевых дьяволов, а также с результатами лабораторного и численного моделирования.

5.2.6 Мезомасштабные структуры в пограничных (экмановских) слоях атмосферы, верхней атмосферы, жидкого ядра земли: условия генерации, транспортные свойства, влияние магнитных полей

Универсальность неустойчивостей экмановского типа, связанной с комбинированным действием сил трения, сдвига скорости и кориолисовых факторов позволяют рассмотреть подобные явления и связанные с ними эффекты с учетом специфики среды в верхней атмосфере, в жидком ядре Земли. Обнаружено возникновение термических ветров в условиях неоднородного квази-периодического нагрева поверхности, вызванного ее волнистой структурой. Рассмотрен ряд вопросов в задачах диффузии примесей на морской поверхности, связанных со структурами источников, эффектами конечной вязкости. Проведено теоретическое и экспериментальное исследование эффектов циклон-антициклонной асимметрии. Обнаружены новые точные нестационарные (транзиентные) решения уравнения Чарни-Обухова, имеющие характер блокированных состояний. Экспериментально обнаружены режимы блокировки антициклонических структур во вращающихся квазидвумерных течениях.

Рассмотрена задача о развитии сдвиговой неустойчивости в трехслойной среде. Показано стабилизация неусточивости трехволновым взаимодействием, сопровождающеюся возникнове-нием различных режимов динамики системы, включая стохастические. На основе точных реше-ний уравнения Чарни – Обухов рассмотрены задачи об устойчивости струйных течений во вра-

щающемся слое мелкой воды. На основе метода контурной динамики развита слабонелинейная модель длинноволновой неустойчивости.

5.3. Развитие методик анализа характеристик электрической турбулентности в грозовой облачности для выявления ее роли в динамике долгоживущих спиральных вихрей (пункт 4.5.3 плана работ на 2016 г.)

5.3.1 Плазменные вихри в атмосфере и их роль в генерации вихревых структур

Нелинейные полевые структуры, такие как плазменный вихрь, имеют дополнительную устойчивость. Ячеистая мозаичная структура полей градиентов давления в атмосфере при нагреве и ионизации частиц способствует генерации плазменных вихрей в геомагнитном поле. Электрическое поле вихря возбуждается на плазменных потоках, ортогональных геомагнитному полю. Учтено влияние аэрозольной примеси в генерации плазменных вихрей и накоплении вихрями энергии и массы в атмосфере при конденсации влаги. Показано, что в аэрозольной плазме атмосферной облачности силы электромагнитного взаимодействия между элементами потоковой структуры способствуют интенсификации вихревой структуры. Взаимодействие плазменных спиральных токовых вихрей определяется их величиной и геометрическими параметрами их пространственного распределения.

5.3.2 Модель структурных функций электрической турбулентности атмосферы с учетом когерентных структур и перемежаемости

Была рассмотрена аналитическая модель электрической турбулентности в грозовой облачности с введением когерентных структур и перемежаемости. Расчеты показали, что введение только КС не слишком больших амплитуд и размеров сохраняет инерционные интервалы на графиках структурных функций, а скейлинговые экспоненты практически не меняются. Для слабой перемежаемости графики СФ тоже качественно не меняются. Однако при

высоком уровне перемежаемости, например, приводящей к исчезновению ярко выраженных пиков в профиле электрического поля, инерционные интервалы на графиках СФ отсутствуют. Кроме того возможны вариации СФ с достаточными усилением величины СФ и также с ее уменьшением. Таким образом формирование турбулентности с присутствием КС и перемежаемости может значительно повлиять на поток энергии по спектру и вести к его сильной вариабельности на различных масштабах. При наличии КС их распределение по длине выборки может влиять на динамику ТЦ включая возникновение обратного каскада энергии, усиление слабых синоптических возмущений. Процессы ионизации атмосферы повышают тепловыделение в облачности и могут приводить к формированию тепловых башен в тайфунах с высокой грозовой активностью. Исследования электрических подсистем грозовой облачности важны и для дальнейшего развития существующих методик обработки данных дистан-ционного зондирования атмосферных вихрей, более полной физической интер-претации результатов обработки, разработки современных методов прогно-зирования кризисных природных явлений и численного моделирования пространственно-временной динамики (с учетом схем параметризации, описывающих в гидродинамике вклад электрических подсистем ТЦ) интенсивных, крупномасштабных вихрей в атмосфере. Результаты анализа представляют интерес для последующих исследований влияния заряженных подсистем мощных атмосферных вихрей типа тайфунов на формирование неоднородной, самосогласованной структуры ветровых потоков в ТЦ.

5.4. Разработка и применение алгоритмов обработки натурных данных, средств исследований состояний атмосферы, в том числе методик дистанционного определения характеристик облачности на основе измерений собственного ИК-излучения атмосферы и отраженной солнечной радиации (пункт 4.5.4 плана работ на 2016 г.)

5.4.1 Угловое распределение спектральной яркости в инфракрасном диапазоне спектра в области горизонта

Измерения углового распределения интенсивности излучения водной поверхности в области надирных углов $0\text{-}90^0$ предназначены для задач исследования процессов генерации и переноса изучения, тепло и массообмена в условиях с сильно меняющимися параметрами состояния среды – скорости ветра, волнения, обрушения волн и образования пены. Эти параметры в свою очередь определяют излучательную способность водной поверхности и точность дистанционного определения температуры.

По результатам измерений спектрального и углового распределения интенсивности нисходящего и восходящего излучения в области "окна прозрачности" атмосферы 8-12 мкм, проведенных в морских и океанических условиях с бота судна, определена излучательная способность взволнованной водной поверхности, ее угловая зависимость и ее вариации. Выявлены условия измерений интенсивности излучения и диапазон углов 60-15 градусов к горизонту, в которых для взволнованной водной поверхности определены значения среднеквадратичных уклонов водной поверхности при наличии ветрового волнения, пены и волн зыби.

В области углов $0\text{-}5^0$ к горизонту при безоблачных условиях выделяется значительное превышение интенсивности излучения водной поверхности и ее эффективной излучательной способности по сравнению с френелевской составляющей отражения, рассчитанной по поляризационным составляющим. Это превышение обусловлено воздействием ветра на гребни волн, их обрушением и образованием пены на поверхности. Проведено сопоставление экспериментальных данных с модельными расчетами с учетом поляризации отражения и затенения нижележащих участков профиля поверхности волнения. Выявленная особенность углового распределения интенсивности излучения вблизи горизонта имеет место также для измерений в ИК - диапазоне 13,7-14,7 мкм и в микроволновом диапазоне на горизонтальной поляризации на длине волны 3,4 см. Полученные экспериментальные данные об излучательной способности взволнованной поверхности и пены позволяют осуществлять обоснованный переход от интенсивности излучения к радиационной

температуре поверхности с учетом моделирования гравитационных и капиллярных волн. Эти данные имеет существенное значение при формировании тепловых контрастов в поле зрения и для ориентации объектов по отношению к горизонту.

5.5 Развитие методов определения микрофизических свойств рассеивающих сред, включая атмосферу, на основе использования двухпозиционных схем лидарного зондирования. Выбор комбинированной модуляции мощности диодного лазера в задаче создания составной зондирующей системы с оптимальным режимом калибровки (пункт 4.5.5 плана работ на 2016 г.)

Предложен режим нефелометра, использующий фрагмент прямоугольного лазерного импульса. Время регистрации обратного сигнала приемником (строб) равно длительности лазерного импульса. В этом случае обратный сигнал от рассеивающего слоя обусловлен фрагментом лазерного импульса. При этом чем дальше слой, тем большая часть лазерного импульса проникает в строб. Для прямоугольного импульса происходит линейная коррекция трассовой зависимости для энергии обратного сигнала. Зависимость отношения энергии обратных сигналов в режиме нефелометра и в режиме лидара линейно зависит от расстояния. При зондировании атмосферы этому соотношению можно сопоставить параметр глубины зондирования. В отличие обычных лидарных методов используется зондирование с помощью фрагмента длинного импульса, что дает новую возможность определять коэффициент экстинкции по глубине зондирования в рассеивающей среде. Оптимальное значение для коэффициента экстинкции может быть выбрано как величина обратная пространственному эквиваленту строба.

Предложен режим с вырожденной энергетической аппаратной функцией. Для его реализации необходимо использование комбинированной модуляции мощности зондирующего пучка с использованием лазерного импульса длительностью много меньшей длительности строба, а так же фрагментов выходного импульса с линейно убывающей мощностью и с постоянной

мощностью. Получены соотношения между геометрией зондирующей системы и параметрами комбинированной модуляции для диодного лазера с заданным диапазоном линейности выходного излучения от тока.

В этом режиме зондирования энергия обратного сигнала не зависит от дистанции до рассеивающего слоя в отличие от обычного режима работы импульсного лидара. Режим зондирования с вырожденной аппаратной функцией позволяет производить калибровку с помощью стандартной рассеивающей поверхности практически на любых расстояниях, сравнимых с длиной ближней зоны лидара при минимальном использовании аттенюаторов. Относительное время работы лазера при измерениях в режиме нефелометра значительно выше, чем для импульсного лидара. В этом случае энергия единичного лазерного импульса может существенно превышать энергию лазера при обычном лидарном зондировании. Режим комбинированной модуляции позволяет производить мониторинг состояния атмосферы с минимальным набором базовых коэффициентов.

5.5.1 Повышение эффективности высокодетального наблюдения Земли со спутников в условиях частичной облачности

В развитие работ по повышению эффективности высокодетального наблюдения Земли со спутников за счёт автономного и оперативного выявления и учёта облачности в заданном районе съёмки на борту космического аппарата (КА) анализировались возможности разработки камеры предварительного обзора (КПО). С использованием такого дополнительного устройства (КПО), установленной под углом в направлении движения КА, на основе анализа ее данных средствами бортовой ЭВМ (и/или встроенного процессора) возможно построение актуальной карты облачности в пределах полосы обзора и автоматический оперативный выбор района съемки (полосы захвата камеры высокодетального наблюдения с наведением её по крену) из нескольких альтернативных программ съёмки. Проводились расчёты некоторых возможных параметров такой бортовой системы, оценивались также предлагаемые

алгоритмы планирования съемки. Также приводятся примеры работы некоторых алгоритмов по данным доступных космических снимков и модельных расчетов. Разработаны тактико-технические требования к проектируемой камере предварительного обзора. С условиями минимизации массово-габаритных характеристик и стоимости её изготовления анализировались возможные схемы технической реализации (изготовления) такой аппаратуры. Результаты работы могут быть использованы при создании различных спутниковых систем, для основных сенсоров которых наличие облачности в кадре является помехой.

5.6 Развитие теоретических моделей, анализ физических механизмов в целях разработки средств исследований гидросферы и атмосферы, в том числе для выявления долгопериодических вариаций и зависимости их от внешних факторов (пункт 4.5.6 плана работ на 2016 г.)

5.6.1 Линейные и нелинейные методы определения температуры морской поверхности

Проведено сопоставление характеристик ИК-радиометров, установленных на метеорологических спутниках. Проведен анализ методов определения температуры морской поверхности и валидации измерений с КА. Измерения угловых и спектрально- угловых распределений, реализованные со спутников “Космос-1151“ и ERS-1,2, сочетают возможности сканирования в плоскости вектора скорости – надир для КА с измерениями пространственных вариаций в полосе обзора. Эти методы обеспечивают как выделение молекулярной газовой компоненты поглощения излучения в атмосфере, так и учет аэрозольной компоненты, роль которой возрастает при активизации вулканических выбросов. Алгоритм определения температуры морской поверхности основан на методе “нулевой“ воздушной массы, разработанной по результатам самолетных и наземных измерений излучения атмосферы и поверхности и модельных расчетов переноса излучения в атмосфере. Валидация измерений с КА и восстановление температуры морской поверхности с применением аналогов бортовых радиометров на судах и стабилизированных платформах использованы для

согласования средних значений температуры водной поверхности, измеренной с различных КА при сопоставимых пространственных и временных условиях измерений. Различие средних и различие среднеквадратических отклонений вызывается не только отклонениями калибровки, деградацией спектральной и радиационной чувствительности элементов радиометров. Эти различия значений температуры водной поверхности вызываются также суточным ходом прогрева водной поверхности солнечной инсоляцией и ветровым волнением водной поверхности. Учет этих параметров позволяет формировать аккумулированную базу сопоставимых данных измерений с различных КА.

5.6.2 Анализ данных мониторинга ионизирующих излучений в атмосфере

Данные мониторинга ионизирующих излучений, полученных Лабораторией естественной радиации Института космических исследований Бразилии и глобальной сетью измерения влажность почвы COSMOS (Cosmic-raySoilMoistureObservingSystem), позволили выявить ряд механизмов связи атмосферной динамики с концентрацией природных нейтронов **:**

- В районе измерений обнаружена повышенная концентрации тепловых нейтронов, связанная, по-видимому, с повышенной концентрацией радионуклидов ^{238}U, ^{235}U и ^{232}Th в местном граните. Наблюдаемые нейтроны скорее всего рождаются в (*α, n*) реакциях *α*-частиц образованных в цепях распада изотопов радона ^{222}Ra и ^{220}Ra, которые диффундируют из земной коры.
- Впервые обнаруженная суточная вариация концентрации тепловых нейтронов с профилем, аналогичным соответствующей вариации атмосферного радона, подтверждает сделанное выше предположение.
- Обнаружено насыщение амплитуды ночного максимума вариации концентрации тепловых нейтронов. Явление объяснено динамическим равновесием между потоком выходящих из земли нейтронов и их потерями

в результате радиационного захвата. Равновесие устанавливается в отсутствие вертикальной конвекции в атмосфере, с веществом которой нейтроны находятся в тепловом равновесии. Отсутствие конвекции в свою очередь связано с отрицательным температурным атмосферным градиентом в ночное время. Эффект позволяет определить выход тепловых нейтронов из грунта и следовательно концентрацию радона. Простота подобного метода открывает возможность долговременного непрерывного мониторинга природного радона, что при использовании прямых методов сопряжено с серьёзными техническими проблемами.

– Обнаружена антикорреляция плотности нейтронов с температурой в дневное время. Явление объяснено изменениями скорости вертикальной конвекции в приземном слое атмосферы, связанным с изменением вертикального температурного градиента в приземном атмосферном слое. Эффект может быть использован для определения скорости вертикальной конвекции в нижнем слое атмосферы.
– Впервые обнаруженная суточная вариация концентрации тепловых нейтронов с профилем, аналогичным соответствующей вариации атмосферного радона, подтверждает сделанное выше предположение.
– Обнаружено насыщение амплитуды ночного максимума вариации концентрации тепловых нейтронов. Явление объяснено динамическим равновесием между потоком выходящих из земли нейтронов и их потерями в результате радиационного захвата. Равновесие устанавливается в отсутствие вертикальной конвекции в атмосфере, с веществом которой нейтроны находятся в тепловом равновесии. Отсутствие конвекции в свою очередь связано с отрицательным температурным атмосферным градиентом в ночное время. Эффект позволяет определить выход тепловых нейтронов из грунта и следовательно концентрацию радона. Простота подобного метода открывает возможность долговременного непрерывного мониторинга природного радона, что при использовании прямых методов сопряжено с серьёзными техническими проблемами.

– Обнаружена антикорреляция плотности нейтронов с температурой в дневное время. Явление объяснено изменениями скорости вертикальной конвекции в приземном слое атмосферы, связанным с изменением вертикального температурного градиента в приземном атмосферном слое. Эффект может быть использован для определения скорости вертикальной конвекции в нижнем слое атмосферы.

5.6.3 Экспериментальных исследований и разработки теоретической модели статистических характеристик турбулентных пульсаций давления и турбулентных шумов на обтекаемой потоком поверхности

Рассмотрен широкий круг задач, связанных с изучением фундаментальных свойств полей турбулентных пульсаций и прикладных вопросов экспериментального исследования турбулентных пульсаций давления в пограничном слое и эффектов их воздействия на формирование шума. Динамика пристеночной турбулентности изучена на основе экспериментальных исследований турбулентных пульсаций в турбулентном пограничном слое. Движение тел в жидкости сопровождается образованием на их поверхности пограничного слоя. В большинстве случаев течение в пограничном слое турбулентно. Турбулентные пульсации давления являются одной из сложных проблем аэрогидродинамики. Информация о статистической структуре поля турбулентных пульсаций давления в пограничном слое обеспечивает решение важнейшей научной проблемы: предсказание структуры сложных турбулентных течений и интенсивности создаваемых ими акустических полей. Спектры турбулентных пульсаций давления являются одной из важных статистических характеристик при турбулентном обтекании. Прямые измерения спектров пульсаций давления позволяют получить сведения о статистических характеристиках турбулентных полей давления в пограничном слое. В 2016 г. были продолжены экспериментальные исследования турбулентных пульсаций давления в глубоком море. В широком диапазоне частот при числах Рейнольдса выше 10^8 выполнены измерения спектров мощности и взаимных спектров

турбулентных пульсаций давления. На основании полученных экспериментальных данных разработаны физико-математические модели представления турбулентных спектров под однородным турбулентным пограничным слоем на гладкой плоской поверхности, обтекаемой безградиентным потоком. Для аналитического представления спектров мощности предложена однопараметрическая модель частотного спектра как функция числа Струхаля S= ωδ */U. Безразмерный параметр S образован комбинацией частоты ω, толщины вытеснения δ* и динамической скоростью переноса вихрей U. Исследовано влияние температурных флуктуаций в турбулентном потоке. При движении тела в жидкости с переменной вдоль траектории температурой, датчик пульсаций давления воспринимает температурные пульсации. При вертикальном всплытии устройства определена связь между спектральной плотностью пристеночных пульсаций температуры и спектром градиентов температуры вдоль траектории всплытия. Получен спектр температурного сигнала, генерируемого пьезоэлектрическим приемником при воздействии пульсаций температуры. Выполнено моделирование вклада температурной неоднородности среды в шумы обтекания, регистрируемые приемником турбулентных пульсаций давления.

Заключение

В целом отчет по теме показывает, что работы по данному направлению нами выполнены. Всего у исполнителей проекта имеется 35 публикаций включая высокорейтинговые издания. Результаты проекта апробированы на международных и российских конференциях, что свидетельствует о их достоверности. Важно и то, что исполнители работ по проекту участвуют в грантах РФФИ, РНФ, программах РАН с общим их количеством 16.

РАЗДЕЛ 6 МОНИТОРИНГ-ЭФФЕКТ

Введение

Настоящий раздел посвящен вопросам создания перспективных методов, подходов развития спутниковых систем наблюдения Земли из Космоса и их элементов, включая системы первичной обработки данных. Работы, входящие в данный раздел, направлены на повышение качества и возможностей действующих и перспективных спутниковых систем ДЗЗ для обеспечения их эффективного использования при решении задач мониторинга и исследования различных природных и антропогенных процессов, объектов и явлений. В 2016 году в рамках настоящего раздела была запланирована работа по следующим основным направлениям:

- разработка предложений по созданию перспективных методов и систем спутниковых наблюдений Земли из Космоса;
- разработка методов и средств повышения качества калибровки и привязки данных российских приборов ДЗЗ, в том числе синтеза и радиометрических свойств изображений приборов МСУ-100 и МСУ-50 (КА "Метеор-М" №1 и №2).

В настоящей главе отчета представлены основные результаты выполненых работ. Подробно полученные результаты описаны в работах [21, 67-69, 224-227, 228-235, 238-239]

6.1. Разработка предложений по созданию перспективных методов и систем спутниковых наблюдений Земли из Космоса (пункт 4.6.1 плана работ на 2016г.)

6.1.1 Разработка методов и средств обеспечения сверхширокого захвата поверхности для систем оперативного мониторинга Земли из космоса высокого разрешения

Необходимым условием успешной реализации проектов экоприродного мониторинга Земли из космоса является обеспечение ежедневной повторяемости съемок. При этом для наблюдения территории Российской Федерации необходимо обеспечить измерения в полосе захвата порядка не менее 1800 км при использовании одного спутника с пространственным разрешением 50 м и лучше.

Существующие широкозахватные методы и средства при установке регистрирующей аппаратуры на космических аппаратах, находящихся на низких солнечно-синхронных околоземных орбитах, не позволяют получить изображения с детальностью лучше 150 м.

Применение в аппаратуре дистанционных наблюдений высокоинформативных матричных датчиков изображения в сочетании с механическим перенацеливанием оптической оси позволяет решить задачу совмещения высокой детальности и ежедневного наблюдения больших территорий с низкоорбитальных КА.

В ходе создания многозональной системы оперативного мониторинга разработаны математические модели и определены принципы построения оптико-механического сканирующего устройства с переменной скоростью углового движения (ОМСУ).

Оптико-механический блок (ОМБ) ОМСУ включает в себя узел сканирующего зеркала и узел двигателя, датчик углового положения и арретир. Блок выполнен в виде цилиндра с тремя апертурами – две входных для светового потока от поверхности Земли и для подсоединения калибратора и выходной для подсоединения объектива оптической системы.

ОМБ ОМСУ крепится на корпус съемочного устройства. Узел сканирующего зеркала состоит из зеркала, оси и подшипниковых опор. Зеркало на бериллиевой подложке крепится на ось, с опорами на дуплексных прецизионных подшипниках

Вращение зеркала осуществляется с помощью 3-х фазного моментного двигателя МД1, имеющего отдельно ротор и статор. Статор устанавливается и крепится в корпусе ОМБ ОМСУ. Ротор крепится на оси зеркала с помощью шпоночного соединения.

Поворот зеркала вокруг оси Z–Z выполняется в шаговом режиме (прямой ход) с последующим возвратом в исходное положение (обратный ход). Закон движения ротора и сканирующего зеркала обеспечивает околонулевую угловую скорость в моменты времени регистрации изображений, что позволяет минимизировать эффекты смаза во время накопления оптического сигнала.

6.1.2 Исследование методов повышения эффективности дивергентного кодирования для успешного декодирования цифровых потоков в условиях большого уровня шума при передаче данных по спутниковым или космическим каналам

В течение 2016 года был реализован новый метод увеличения кодового расстояния в кодах, применяемых в декодерах порогового типа для двоичных свёрточных кодов. Он назван дивергентным кодированием.

Детальный анализ поведения основных модификаций многопороговых декодеров (МПД) при различных уровнях шума показал, что новый способ увеличения кодового расстояния можно реализовать на кодах с неравной защитой символов. Это позволило построить коды, которые обеспечивают более высокую достоверность декодирования при использовании МПД, чем ранее известные схемы. Предложенная схема относится к дивергентным и позволяет одновременно снизить сложность декодера примерно на 30%.

Этот новый способ кодирования и последующего декодирования был обоснован в докладе на конференции ДСПА в 2016 году и уже используется и другими исследователями систем кодирования. Какие-либо другие методы некаскадного увеличения кодового расстояния ранее не были известны.

По итогам разработки новых ПЭ, взаимодействующих друг с другом, в 2015 г. был получен патент на изобретение №2557454 "Способ декодирования помехоустойчивого кода" от 25.06.2015 для новых вариантов декодеров.

В процессе в области ОТ развивались контакты с зарубежными коллегами, в частности с Национальным университетом им. Л.Н. Гумилёва в Астане (РК). По итогам разработки и исследований пороговых элементов (ПЭ), что было предметом исследований в 2014 - 2015 гг. с казахскими коллегами. В 2016 году получен патент на изобретение республики Казахстан №31246 совместно со специалистами РК.

В развитие результатов по значительному повышению эффективности методов МПД декодирования в Роспатент подана ещё одна заявка на патент на изобретение эффективного оптимального декодера, который может особенно успешно работать при большом уровне шума, что чрезвычайно важно для систем дальней космической связи.

В случае получения патента это позволит ещё приблизиться к пропускной способности канала (границы Шеннона) примерно на 0,3 - 0,4 дБ, что для каналов с большим уровнем шума, где добиваться роста эффективности уже особенно трудно, будет очень хорошим результатом.

Также в 2016 году был получен патент на изобретение РФ №2573741 с приоритетом от 22 декабря 2015 г., также содержащий новые решения по тематике исследований прошлого 2015 года по пороговым элементам.

6.2. Разработка методов и средств повышения качества калибровки и привязки данных российских приборов ДЗЗ (пункт 4.6.2 плана работ на 2016г.)

6.2.1 Разработка методов и средств повышения качества калибровки и привязки данных приборов МСУ-100 и МСУ-50 (КА «Метеор-М» №1 и №2)

В январе-феврале 2016 г. по однородным снежным полям Антарктиды проведена ежегодная полетная радиометрическая калибровка камер, входящих в

состав модернизированного Комплекса многозональной спутниковой съемки (КМСС-М) на борту КА «Метеор-М» №2, который был выведен на орбиту в июле 2014 г. КМСС-М включает в себя две камеры МСУ-100 с разрешением около 60 м и тремя спектральными зонами в видимом и ближнем ИК диапазонах, оптимизированными для съемок суши, и одну камеру МСУ-50 с разрешением около 120 м и тремя спектральными зонами в видимом диапазоне, оптимизированными для мониторинга водных объектов. В качестве калибровочного эталона использовалось угловое распределение коэффициента яркости антарктического снега на верхней границе атмосферы, построенное по данным спектрорадиометра MODIS на КА Terra, стабильность которого была подтверждена результатами многолетних съемок Антарктиды, выполненных MODIS и камерами КМСС на борту КА «Метеор-М» №1 и №2. По результатам калибровки сделан вывод о том, что необходимая коррекция чувствительности элементарных детекторов всех камер КМСС в большинстве случаев не превышает

нескольких процентов, т.е. находится в пределах точности калибровки (см. рисунок 6.2.1).

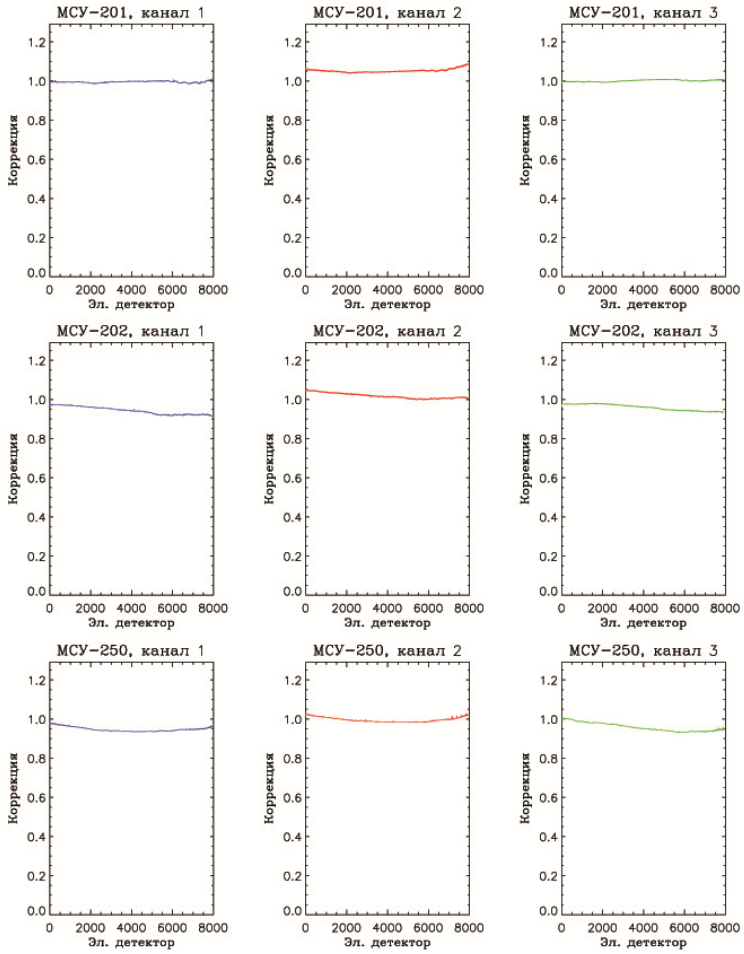


Рисунок 6.2.1– Коррекция чувствительности элементарных детекторов камер КМСС по результатам калибровки по снежным полям Антарктиды в январе-феврале 2016 г.

6.2.2 Геопривязка данных ДЗЗ высокого разрешения с КА «Ресурс-П»

Геопривязка данных ДЗЗ высокого разрешения с КА «Ресурс-П» основана на использовании показаний приборов звездной ориентации БОКЗ-М60, установленных на борту. Поэтому точность определения параметров ориентации этими приборами напрямую влияет на точность геопривязки данных ДЗЗ. При этом на точность определения направлений на звезды влияет множество эффектов, в том числе эффекты теории относительности, а именно аберрации света. К сожалению, корректность учета аберраций света в бортовом программном обеспечении довольно трудно отработать при наземных испытаниях. Кроме того, за учет эффекта аберрации ответственно как программное обеспечение проборов звездной ориентации, так и БВМ КА. Для

учета аберрации требуется измерение линейной скорости КА, которую прибор звездной ориентации измерить не может – ему ее формирует БВМ КА.

В ходе работ по уточнению геопривязки данных ДЗЗ на «Ресурс-П» выявился некорректный учет аберрации света, который в ряде случаев приводил к ошибкам в ориентации до 10–15 угл.с., т.е. ошибкам геопривязки до 20–30 м. Ошибки учета аберрации возникали вследствие обновления значений вектора угловой скорости от БВМ КА с недостаточной частотой. В результате работы была создана методика коррекции ошибок и программное обеспечение в виде динамической библиотеки (dll). Данная библиотека была внедрена в наземные средства приема данных от КА «Ресурс-П» и в настоящее время работает в штатном режиме. Благодаря внедрению dll точность геопривязки данных ДЗЗ с КА «Ресурс-П» доведена до 8 м.

На рисунке 6.2.2.1 показан угол между двумя оптическими осями приборов звездной ориентации на 7-ми орбитальных витках. Частота измерений 1 Гц, т.е. около 40 тысяч измерений. На графике явным образом наблюдается эффект аберрации с амплитудой 30 угл.с. Подобные наблюдения невозможно провести при наземных испытаниях. На рисунке 6.2.2.2 показаны графики углов между оптическими осями трех пар приборов после применения процедуры коррекции. Как видно, СКО ошибок определения ориентации каждого из приборов находится на уровне 1,5–2 угл.с. на интервале в десятки тысяч измерений.

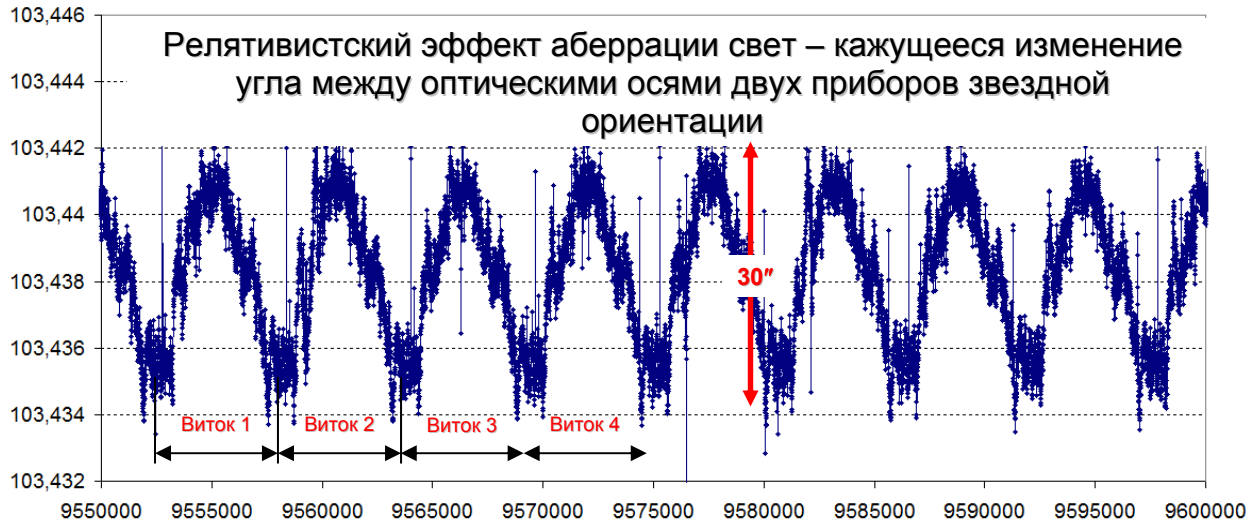


Рисунок 6.2.2.1 – Угол между оптическими осями двух приборов звездной ориентации БОКЗ-М60 на КА «Ресурс-П»

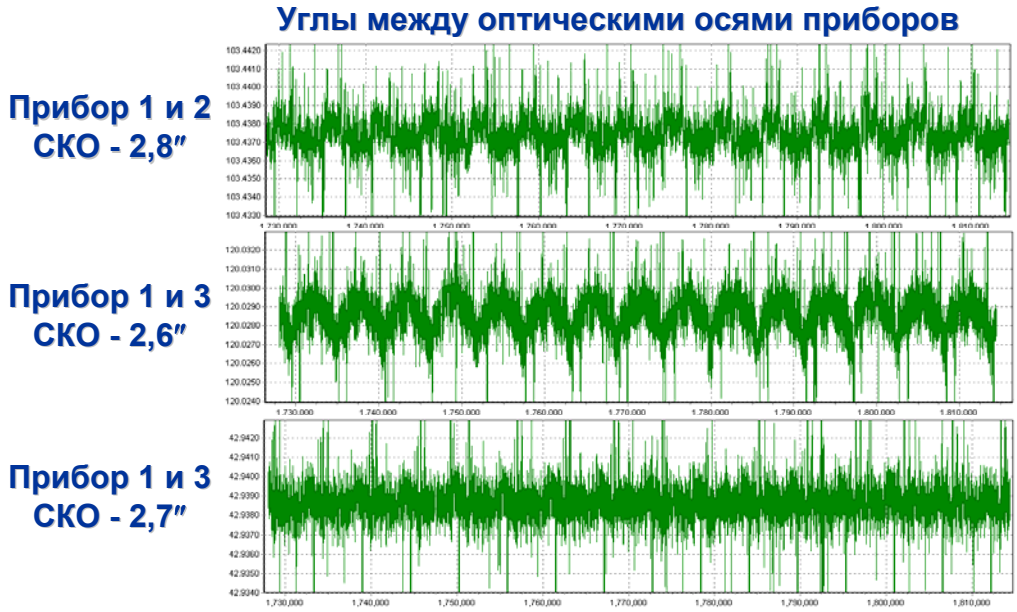


Рисунок 6.2.2.2 – Углы между оптическими осями трех пар приборов звездной ориентации БОКЗ-М60 на КА «Ресурс-П» после коррекции ошибок учета эффекта аберрации

Заключение

Представленные в данной главе материалы показывают, что научно-исследовательские работ по направлению «Мониторинг-Эффект» проводилось в полном соответствии с утвержденным планом.

Можно считать, что научно-исследовательские работы по направлению «Мониторинг-Эффект» выполнены в полном объеме.

РАЗДЕЛ 7 МОНИТОРИНГ-ИНФРАСТРУКТУРА

Введение

Раздел 7 (Мониторинг-Инфраструктура) темы "Мониторинг" посвящен работам, связанным с проведением различных научных мероприятий, выпуском периодических изданий и поддержанием информационных сайтов, направленных на обсуждение вопросов, связанных с разработкой физических основ, новых методов, подходов и систем, направленных на дистанционный мониторинг и исследование различных природных и антропогенных процессов, объектов и явлений.

В 2016 году в рамках работ по теме "Мониторинг-инфраструктура" были запланированы следующие работы и научно-образовательные мероприятия:

- проведение ежегодной конференций "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса";
- проведение школы молодых ученых, в том числе ежегодной школы "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса";
- проведение конкурса работ молодых ученых, работающих в области дистанционного мониторинга Земли, природных и антропогенных процессов;
- выпуск периодического научного издания (журнала) "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса";
- поддержка и развитие тематических порталов.

Настоящий раздел посвящен описанию мероприятий, выполненных в рамках направления "Мониторинг-Инфраструктура" в 2016 г.

7.1. Проведение ежегодной конференций "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса" (пункт 4.7.1 плана работ на 2016 г.)

14-18 ноября 2016 г. в Институте космических исследований Российской академии наук была проведена Четырнадцатая Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Работа конференции осуществлялась в рамках следующих секций: Пленарные заседания, одно из которых было посвящено исследованию Арктики; дистанционные исследования поверхности океана и ледяных покровов; дистанционные методы исследования атмосферных и климатических процессов; дистанционное зондирование ионосферы; дистанционные методы в геологии и геофизике; дистанционное зондирование растительных и почвенных покровов; дистанционное зондирование планет Солнечной системы; методы и алгоритмы обработки спутниковых данных; технологии и методы использования спутниковых данных в системах мониторинга; вопросы создания и использования приборов и систем для спутникового мониторинга состояния окружающей среды.

Всего на Конференции было представлено 464 доклада, из них 274 устных и 190 стендовых. Для участия в конференции зарегистрировалось 757 человек, из 9 стран, 58 городов и из 235 организаций. В заключительный день конференции было проведено выездное пленарное заседание в Научном центре Оперативного мониторинга Земли ОАО «Российские космические системы» по тематике «Российская система спутниковых наблюдений и технологий: состояние и перспективы развития».

Детальная информация о прошедшей конференции, в том числе электронный сборник тезисов конференции доступна на сайте конференции по адресу:
http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/

7.2. Проведение ежегодной школы молодых ученых (пункт 4.7.2 плана работ на 2016 г.)

7.2.1 Проведение Двенадцатой Всероссийской научной школы-конференции по фундаментальным проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса

В рамках Четырнадцатой Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» 14-18 ноября 2016 г. в ИКИ РАН проходила Двенадцатая Всероссийская научная школа-конференция по фундаментальным проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса. Во время проведения Школы-конференции было прочитано 6 лекций и проведено 2 мастер-класса, которые вызвали огромный интерес не только у молодых, но и у зрелых ученых. Молодые ученые представили 59 устных и 46 стендовых докладов.

7.2.2 Проведение Седьмой международной Школы-семинара «Спутниковые методы и системы исследования Земли»

24 – 28 февраля 2016 г. в Тарусе на базе представительства Интеркосмос ИКИ РАН провел Седьмую международную Школу-семинар: «Спутниковые методы и системы исследования Земли». Было прочитано 9 лекций по различным направлениям дистанционного исследования океана. В работе Школы-семинара принимали участие молодые ученые из Москвы, Санкт-Петербурга, Калининграда, Нижнего Новгорода, Владимира, Севастополя и Баку. Молодые ученые представили 10 устных докладов. Для молодых ученых было организовано посещение Специального конструкторского бюро космического приборостроения ИКИ РАН (СКБ КП ИКИ РАН) в г. Таруса.

7.3. Проведение конкурса работ молодых ученых, работающих в области дистанционного мониторинга Земли, природных и антропогенных процессов (пункт 4.7.3 плана работ на 2016 г.)

В рамках Двенадцатой Всероссийской научной школы-конференции по фундаментальным проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса был проведен конкурс работ молодых ученых. Всего в конкурсе устных и стендовых докладов приняло участие 95 работ молодых ученых. По результатам конкурса было присуждено 1 первая, 3 вторых и 4 третьих премии. В 2016 году была также присуждена премия за внедрение.

7.4. Выпуск периодического научного издания (журнала) "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса" (пункт 4.7.4 плана работ на 2016 г.)

В 2016 году было выпушено 5 номеров очередного Тринадцатого тома научного журнала "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", в декабре 2016 года планируется выпуск 6-го номера. Всего планируется опубликовать около 130 статей.

Все опубликованные в журнале статьи находятся в свободной доступе на сайте журнала по адресу: http://jr.rse.cosmos.ru/

Журнал входит в список ВАК и индексируется системами РИНЦ и Scopus.

Заключение

Представленные в данной главе материалы показывают, что научно-исследовательские работы по направлению «Мониторинг-Инфраструктура» проводились в полном соответствии с планом.

Можно считать, что научно-исследовательские работы по направлению «Мониторинг-Инфраструтура» выполнены в полном объеме.

РАЗДЕЛ 8 ОСНОВНЫЕ ДИСТИЖЕНИЯ ГОТОВЫЕ К СПОЛЬЗОВАНИЮ

Введение

В настоящем разделе приводятся основные результаты работ, полученные на основе методов, технологий и систем, разработанных в рамках темы "Мониторинг", готовые к внедрению и находящиеся в опытной и промышленной эксплуатации.

8.1 Информационная система Вега-Приморье

"ВЕГА-Приморье" - информационная система комплексного дистанционного мониторинга лесов Приморского края, разработанная в рамках соглашения с администрацией региона. Информационная система "ВЕГА-Приморье" позволяет осуществлять спутниковый мониторинг лесов Приморского края с целью повышения эффективности использования лесных ресурсов, их охраны и защиты, сохранения биологического разнообразия наземных экосистем. Система обеспечивает возможность использования созданных в ИКИ РАН уникальных спутниковых технологий для решения задач мониторинга лесных пожаров и оценки их последствий, выявления участков вырубки лесов и их гибели от неблагоприятных природных факторов, оценки среды обитания животных. "Вега-Приморье" может служить основой для разработки комплексных систем мониторинга лесных ресурсов на уровне отдельных регионов и страны в целом.

Подробно возможности системы описаны в работах [33, 119].

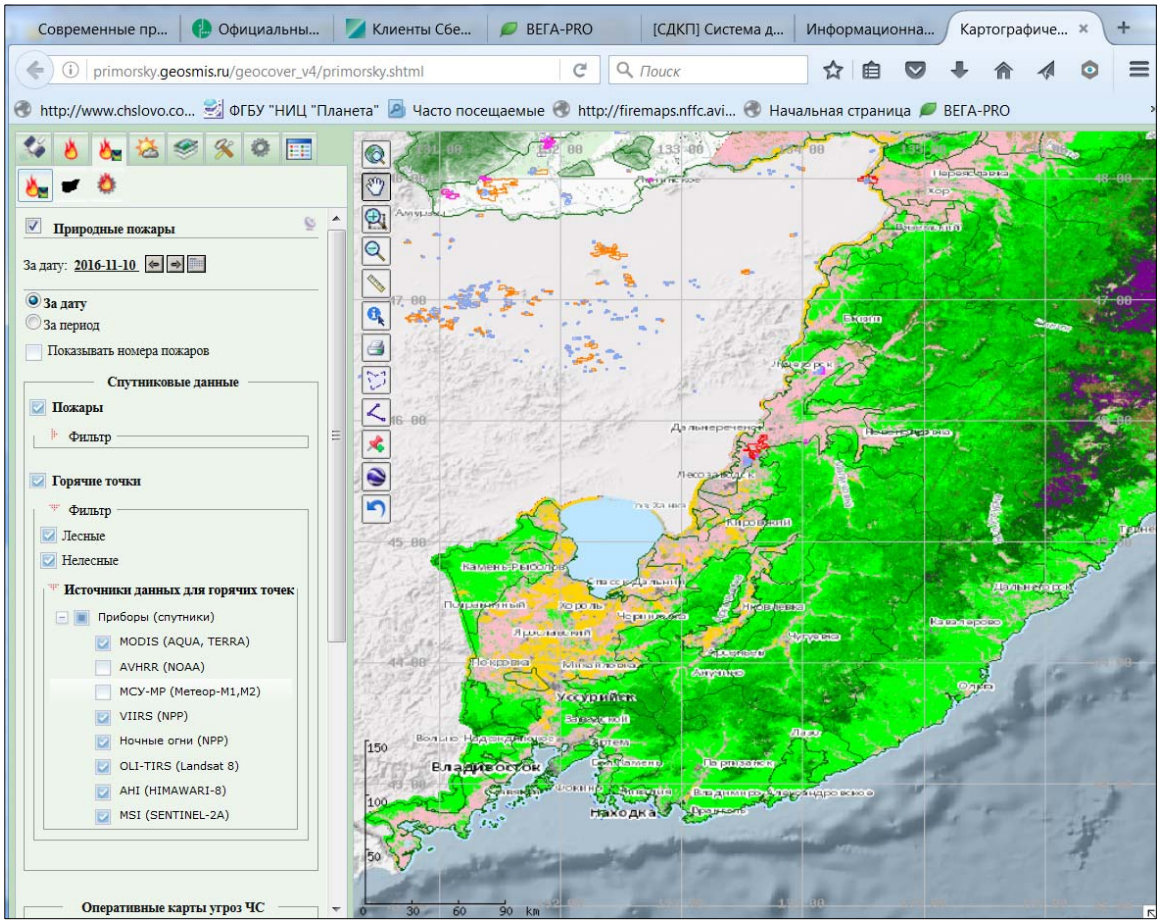


Рисунок 8.1 - Пользовательский интерфейс Информационной системы комплексного дистанционного мониторинга лесов Приморского края "ВЕГА-Приморье"

8.2 Прибор мБОКЗ-2

В 2016 году с космодрома «Восточный» состоялся запуск малого КА «Аист-2Д», на котором установлен прибор звездный ориентации нового поколения мБОКЗ-2. За счет использования более совершенной электроники, в частности, фоточувствительной КМОП-матрицы, удалось обеспечить существенное улучшение технических характеристик прибора. По сравнению с существующими аналогами - приборами БОКЗ разработки ИКИ РАН, мБОКЗ-2 обладает в 4 раза меньшей массой, в 2 раза меньшими габаритами, в 2 раза более высокой точностью, в 10 раз более высокой помехоустойчивостью к засветке. В настоящий момент мБОКЗ-2В успешно обеспечивает управление МКА «Аист-2Д» и геопривязку данных ДЗЗ.

Данный прибор открывает новые горизонты в развитии приборов звездной ориентации. Дальнейшие разработки ИКИ РАН в этом направлении будут основаны на технических решениях, реализованных в мБОКЗ-2. Уже получены предварительные заказы на еще 30 аналогичных приборов.

Внешний вид прибора звездной ориентации мБОКЗ-2В представлен на рисунке 8.2

Рисунок 8.2 - Внешний вид прибора звездной ориентации мБОКЗ-2В, состоящий из двух оптических головок и блока обработки данных

8.3 Прибор БОКЗ-М60

В 2016 году с космодрома «Восточный» состоялся пуск ракетоносителя (РН) «Союз-2.1а» с блоком выведения (БВ) «Волга», задача которого довыведение полезной нагрузки на рабочую орбиту. Благодаря использованию БВ «Волга» расширяются энергетические и точностные характеристики средств выведения. Система управления БВ «Волга» использует в своем составе приборы звездной ориентации БОКЗ-М60. Принципиальной новизной в использовании приборов БОКЗ-М60 на БВ «Волга» является то, что они начинают функционировать на

участке выведения на высоте 100 км и должны определять параметры ориентации на фоне работы двигателей РН и двигательной установки БВ. По показаниям БОКЗ-М60 производится вывод полезной нагрузки на рабочую орбиту и производится затопление БВ «Волга».

Из изложенного следует, что с одной стороны, приборы должны работать в жестких условиях при наличия помех различного рода, а с другой стороны, при не выполнении ими целевой задачи не решается задача выведения КА на орбиту. Ко всему прочему, на решение начальной задачи ориентации приборам БОКЗ-М60 отводится только 60 с. В настоящее время произведено три пуска РН с БВ «Волга», как известно, все пуски были успешными, т.е. приборы БОКЗ-М60 решили свою задачу.

Рисунок 8.3 - Внешний вид блока выведения с приборами БОКЗ-М60 и установленным на нем МКА «Ломоносов» и «Аист-2Д»

8.4 Технология точной геопривязки данных спутников серии "Ресурс-П"

В 2016 году произведен запуск КА «Ресурс-П» №3, вместе с которым образована космическая система, состоящая из трех КА ДЗЗ высокого разрешения. Следует сказать, что КА «Ресурс-П» - наиболее совершенные КА, когда либо созданные в России и СССР, и конкурируют по своим характеристикам с мировыми аналогами. Эти КА обладают съемочной цифровой системой с разрешением на земле 0,7 м, захватом 38 км и высоскоростной радиолинией, способной передать данные ДЗЗ на приемные пункты, развернутые по всей стране. Одним из качеств данных ДЗЗ является точность их геопривязки, которая производится в полностью автоматическом режиме по показаниям бортовых звездных датчиков БОКЗ-М60. Благодаря работам по повышению точности оценки показаний приборов в настоящий момент на КА «Ресурс-П» №3 достигнута точность геопривязки 7 м.

8.4. Комплекс многоспектральной съемки КМСС

В 2016 году комплекс многозональной съемочной аппаратуры КМСС, разработанный и созданный в ИКИ РАН, успешно отработал заявленный гарантийный ресурс в натурных условиях на борту космического аппарата гидрометеорологического назначения «Метеор-М» №1 без замечаний и сбоев.

В течение 7 лет опытной эксплуатации аппаратура КМСС обеспечивает ежедневную съемку поверхности Земли в шести спектральных зонах видимой и ближней ИК области э/м спектра, покрывая площадь более 50 млн. кв. км за сутки с пространственным разрешением от 60 м.

Информация КМСС благодаря оперативности, детализации и точности предоставляемых данных используется для решения задач управления хозяйствующих структур в областях и регионах. К достоинствам этой информации относится интегральный площадной характер данных и

возможность оперативного получения съемок необходимого региона в реальном масштабе времени.

В задачи космического мониторинга входит обеспечение органов регионального управления пространственными данными для контроля использования природных ресурсов и земель на подведомственной территории.

Обработкой, целевым использованием и обеспечением потребителей данными КМСС занимаются уполномоченные организации – операторы ДЗЗ – НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы» и ФГБУ НИЦ «Планета» Росгидромета.

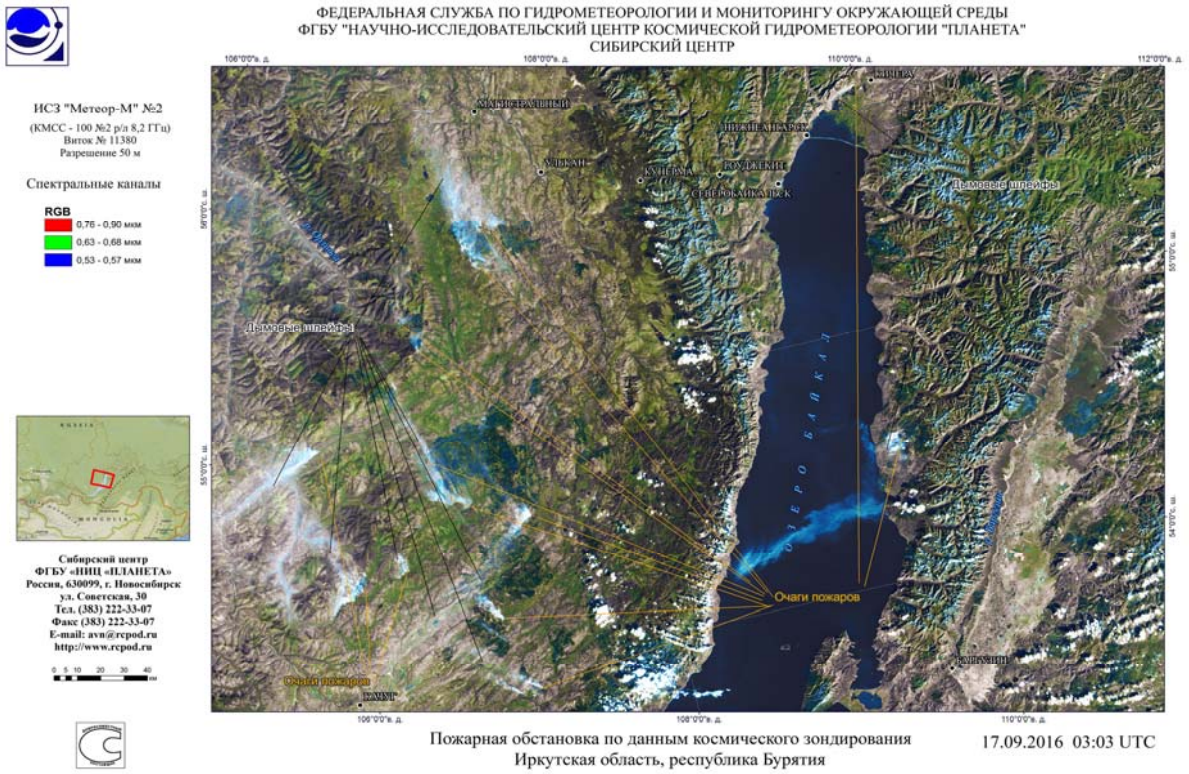


Рисунок 8.4 - Карта пожарной обстановки в Бурятской области в сентябре 2016г., составленная по данным КМСС в Сибирском центре ФГБУ НИЦ «Планета»

РАЗДЕЛ 9 ГРАНТЫ ПО НАПРАВЛЕНИЮ МОНИТОРИНГ

Грант РФФИ 16-37-00427 Разработка новых подходов и методов построения инструментов для работы со сверхбольшими архивами данных дистанционного зондирования с использованием распределенных вычислительных ресурсов, 2016, Руководитель Кашницкий А.В.

Грант РФФИ 16-29-09615 Разработка методов и информационных инструментов для получения, интерпретации и эффективного использования в специальных криминалистических экспертизах данных мультиспектрального дистанционного зондирования ареалов растений, 2016, Руководитель Саворский В.П.

Грант РФФИ 15-07-05564 Разработка научно методических основ геоинформационной технологии дистанционного мониторинга виноградников, 2015-2017, Руководитель Лупян Е.А.

Грант РФФИ 15-29-07953 Разработка на основе облачных вычислений методов и алгоритмов распределенного хранения, обработки и анализа сверхбольших наборов данных дистанционного наблюдения для решения крупномасштабных научных задач в области мониторинга состояния окружающей среды, 2015-2017, Руководитель Смагин С.И.

Грант РФФИ 16-05-20607 Проект организации Четырнадцатой Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2016, Руководитель Лупян Е.А.

Грант РФФИ 16-35-10360 Проект организации Двенадцатой Всероссийской школы-конференции молодых ученых по фундаментальным проблемам

дистанционного зондирования Земли из космоса, 2016, Руководитель Барталев Е.А.

Грант РФФИ 14-05-00520-а Специфические формы проявления внутриводных процессов на морской поверхности, 2014-2016, Руководитель Лаврова О.Ю.

Грант РФФИ 14-02-00839 Исследование общего содержания и детальных профилей водяного пара атмосферы Земли из космоса радиофизическими методами с помощью радиометра с предельными характеристиками, 2014-2016, Руководитель Хапин Ю.Б.

Грант РФФИ 15-05-08401 Экспериментальные исследования гравитационно-капиллярного спектра морской поверхности методами микроволновой радиометрии, 2015-2017, Руководитель Кузьмин А.В.

Грант РФФИ 16-35-50105 мол_нр Исследование динамики вихревых структур, струйных течений и внутренних волн в Юго-Восточной Балтике по данным численного моделирования, натурных измерений и спутниковых наблюдений, 2016, Руководитель Лаврова О.Ю.

Грант РФФИ 16-05-00164-а Исследование ледового щита Антарктиды с помощью спутниковой микроволновой радиометрии, 2016-2018, Руководитель Тихонов В.В.

Грант РФФИ 16-05-00551 Диагностика и прогноз зарожде-ния тропических циклонов с применением облачно-разрешающего численного моделирования, 2016-2018, Руководитель Левина Г.В.

Грант РФФИ 14-07-00032 Исследование и разработка методов и технологий построения геоинформационных инфраструктур спутни-ковых данных и

формирования распределенной среды интегрированных инфор-мационных ресурсов, 2014-2016, Руководитель Кудашев Е.Б.

Грант РФФИ 14-05-00959 ″Характеристики мезомасштабных атмосферных циркуляций в Арктике и их влияние на энергообмен атмосферы и океана″, 2014-2016, (исп. Чхетиани О.Г.)

Грант РФФИ 14-29-06073 офи_м ″Исследование гидромагнитных структур вращающихся
геофизических течений с применением лабораторного и численного моделирования″, 2014-2016, (исп. Чхетиани О.Г.)

Грант РФФИ 15-05-06849а ″Экспериментальное и теоретическое исследование когерентных структур конвективного пограничного слоя атмосферы″, 2015-2017, (исп. Чхетиани О.Г.)

Грант РФФИ 13-08-90300_Абх. Исследования гидродинамических шумов обтекания в условиях глубокого моря на Автономной морской лаборатории, 2013-2016, (руководитель проекта Е.Б. Кудашев)

Грант РНФ 14-27-00134 ″Исследование динамики волновых и обменных процессов в атмосфере ″, 2014-2016, (руководитель О.Г. Чхетиани)

Грант РНФ 14-17-00806 ″Интенсивные атмосферные вихри и их динамика: теоретические
проблемы, анализ данных, лабораторные эксперименты и численное моделирование″, 2014-2016, (исп. О.Г. Чхетиани)

Грант РФФИ 15-05-06849-а ″Экспериментальное и теоретическое исследование

когерентных структур конвективного пограничного слоя атмосферы″, 2015-2017, (исп. О.Г. Чхетиани)

Грант РФФИ 14-29-06073- офи_м ″Исследование гидромагнитных структур вращающихся геофизических течений с применением лабораторного и численного моделирования″, 2014-2016, (исп. О.Г. Чхетиани)

Грант РФФИ 14-05-00959-а ″Характеристики мезомасштабных атмосферных циркуляций в Арктике и их влияние на энергообмен атмосферы и океана″, 2014-2016, (исп. О.Г. Чхетиани)

Грант РФФИ 16-35-50120- мол_нр ″Исследование структуры и динамики воздушного потока при обтекании гор произвольного профиля″, 2016-2018, (руководитель О.Г. Чхетиани)

Конкурс Минобрнауки РФ 2015-14-579-0173-5783 (Соглашение 14.607.21.0122) Разработка методов и программных комплексов автоматизированной обработки спутниковых данных дистанционного зондирования Земли для создания и поддержки информационных сервисов мониторинга ресурсного потенциала и состояния лесов России, 2015-2017, Руководитель Егоров В.А.

Конкурс Минобрнауки РФ 2015-14-588-0003-4500 (Соглашение 14.616.21.0063) Развитие автоматизированных методов и информационных технологий глобального спутникового мониторинга сельского хозяйства в поддержку программы GEOGLAM, 2015-2017, Руководитель Лупян Е.А.

Российский научный фонд 14-17-00389 Исследование динамики растительного покрова России в XXI веке на основе данных дистанционного зондирования со

спутников и математического моделирования, 2014-2016, Руководитель Барталев С.А.

Российский научный фонд 16-17-00042 Оценка опасности эксплозивных извержений вулканов на основе комплексного анализа данных дистанционного зондирования и наземных инструментальных наблюдений, 2016, Руководитель Гордеев Е.И.

Российский научный фонд 14-17-00555 Исследование влияния динамических и циркуляционных процессов на распространение антропогенных и биогенных загрязнений морской поверхности на основе комплексного использования спутниковой информации, 2014-2016, Руководитель Лаврова О.Ю.

Программа I.15П Природные катастрофы и адаптационные процессы в условиях изменяющегося климата и развития атомной энергетики, 2016-2020, (исп. О.Г.Чхетиани)

Программа Президиума РАН I.24П ″Нелинейная динамика в математических и физических науках″, проект 5.11. ″Генерация потоков быстрых заряженных частиц когерентными волновыми структурами в космической плазме, нелинейная нестационарная динамика вихревых когерентных структур в пограничных слоях атмосферы, нелинейная динамика и устойчивость плазмы в тонких токовых слоях магнитосферы. Нелинейная динамика в системах с быстрыми и медленными движениями, численный анализ течений в атмосфере и океане в приближении «мелкой воды» с учетом неоднородной поверхности″, 2015-2018, руководитель Н.С.Ерохин, д.ф.м.н., зав.отделом.

Проект 4.4 ″Исследование влияния электромагнитных взаимодействий на генерацию спиральных крупномасштабных вихрей в атмосфере″ Программы

III.2ОФН РАН ″Фундаментальные проблемы электродинамики и волновой″, 2016-2018, руководитель проекта Ерохин Н.С., д.ф.м.н., зав.отделом.

Проект 1.6 ″Исследование физических процессов при грозовых разрядах на базе микроспутника Чибис-М″ Программы III.2ОФН РАН ″Фундаментальные проблемы электродинамики и волновой″, 2016-2018, руководитель Проекта Долгоносов М.С.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение отметим, что по результатам работ по направлению темы ""Мониторинг" сотрудниками ИКИ РАН опубликовано – 241 работа из них опубликовано:

- в зарубежных изданиях – 16
- книг – 5
- статьи в отечественных научных рецензируемых журналах – 50
- статьи в сборниках материалов конференций - 32
- Доклады, тезисы, циркуляры – 134
- Патенты – 4

Отметим результаты, полученные в рамках выполненных работ, в том числе тот факт, что возможности центра коллективного пользования "ИКИ-Мониторинг" используются в настоящее время для выполнения нескольких десятков научных проектов, выполняемых в более чем 40 научных и образовательных организациях.

Особо следует отметить то, что результаты, полученные в рамках направлений работ темы мониторинг, уже сегодня используются для поддержки и развития различных прикладных систем дистанционного мониторинга, в том числе:

- Информационной системы дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства ИСДМ Рослесхоз (http://www.pushkino.aviales.ru), предназначенную для сбора информации о пожарах по всей территории России, сбора информации о состоянии окружающей среды, подготовки информационных продуктов для анализа пожарной обстановки и последствий пожаров и оперативного распространения накопленной информации.

- Отраслевой информационной системы мониторинга Федерального агентства рыбного хозяйства (ОСМ Росрыболовства) (http://osm.smislab.ru/) ориентированную на получение информации о деятельности промысловых судов.
- Информационной системы комплексного дистанционного мониторинга лесов Приморского края ("Вега-Приморье") (http://primorsky.geosmis.ru/).
- Информационной системы дистанционного мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил (VolSatView) использующейся как для изучения вулканов, так и для обеспечения полетов авиации (http://volcanoes.smislab.ru).
- Информационной системы Вега-GEOGLAM развиваемой при поддержке Европейской комиссии и Министерства науки и образования РФ в интересах создания глобальной системы мониторинга сельского хозяйства. (http://vega.geoglam.ru/)

В заключение отметим, что работы по теме "Мониторинг" проводились в соответствие с утвержденным планом и полностью выполнены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Публикации в зарубежных изданиях

1. *Bartalev S.A., Plotnikov D.E., Loupian E.A.* Mapping of arable land in Russia using multiyear time series of MODIS data and the LAGMA classification technique // Remote Sensing Letters. 2016. Vol. 7. No. 3. P. 269-278. DOI: 10.1080/2150704X.2015.1130874. (Импакт фактор 1,618, Web of science)
2. *Waldner F., Fritz S., Di Gregorio, A., Plotnikov D.E., Bartalev S.A., Kussul, N.N., Gong, P., Thenkabail, P., Hazeu, G., Klein, I., Löw, F., Miettinen, J., Dadhwal, V., Lamarche, C., Bontemps, S., Defourny, P.* A Unified Cropland Layer at 250 m for Global Agriculture Monitoring // Data. 2016. 1, 3, DOI:10.3390/data1010003.
3. *Waldner F., De Abelleyra D., Santiago V., Zhang M., Wu B., Plotnikov D.E., Bartalev S.A., Lavreniuk M., Skakun S., Kussul, N.N., Le Maire G., Dupuy S., Jarvis I., Defourny, P.* Towards a set of agrosystem-specific cropland mapping methods to address the global cropland diversity // International Journal of Remote Sensing. 2016. Vol. 37. Issue 14. DOI:10.1080/01431161.2016.1194545. (Импакт фактор 1,819, Web of science)
4. *Savorsky V.P., Loupian E.A., Balashov I.V., Kashnitskiy A.V., Konstantinjva A.M., Tolpin V.A., Uvarov I.A., Kuznetsov O.O., Maklakov S.M., Panova O. Yu., Savchenko E.V.* Vega-constellation tools to analize hyperspectral images // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives. 2016. XLI-B4. P. 235-242. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLI-B4-235-2016. (Scopus)
5. *Kaftan V., Komitov B., Lebedev S.* Solar-terrestrial interaction: Case study of Caspian Sea level changes // Bulgarian Astronomical J. 2016. V. 25. P. 37–51. (Цит. SCOPUS)

6. *Kuznetsov I.A., Hess S.L.G., Zakharov A.V., Ciprian F., Seran E., Dolnikov G.G., Lyash A.N., Popel S.I., Kopnin S.I., Lisin E.A.* Preliminary Numerical Modelling of Plasma-Lunar Lander Interactions in the Case of Sunrise // IEEE Special Issue — Spacecraft Charging Technology. 2016. (in press)
7. *Lavrova O., Krayushkin E., Golenko M., Golenko N.* Effect of Wind and Hydrographic Conditions on the Transport of Vistula Lagoon Waters Into the Baltic Sea: Results of a Combined Experiment // IEEE J. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2016. V. 9. Iss. 9. doi:10.1109/JSTARS.2016.2580602. (Цит. SCOPUS, Web of Science)
8. *Mityagina M., Lavrova O.* Satellite Survey of Inner Seas: Oil Pollution in the Black and Caspian Seas // Remote Sensing. 2016. V. 8. Iss. 10. P. 875. 24 p. doi:10.3390/rs8100875. (Цит. SCOPUS, Web of Science)
9. *Tikhonov V.V., Boyarskii D.A., Polyakova O.N.* Analysis of the optical constants of magnetite, pyrite and chalcopyrite in the microwave range using the method Kramers-Kronig // Optics and Spectroscopy. 2017. V. 122. No. 3 (in press) (Web of Science, IF 0.644)
10. *Tikhonov V.V., Raev M.D., Sharkov E.A., Boyarskii D.A., Repina I.A., Komarova N.Yu.* Satellite microwave radiometry of sea ice of polar regions: Review // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2016. V. 52. No. 9. (in the press) (Web of Science, IF 0.5)
11. *Гусев А.А., Мартин И.М.* Нейтроны в приземной атмосфере. Sciences of Europe, (№ 9/9), 2016, ISSN 3162-2364, принято в печать.
12. *Alves M.A, Martin I.M., A.J. de Abreu, Gusev A.A.* Influência de Parâmetros Atmosféricos na Contagem de Radiação X e Gama de Fundo (Влияние атмосферных параметров на интен-сивность рентгеновского и гаммы фона), VII Simpósio Brasileiro de Geofísica, 25-27 October, 2016, Ouro Preto, Brasil.
13. *Izhovkina N.I., Artekha S.N., Erokhin N.S., Mikhailovskaya L.A.* Interaction of Atmospheric Plasma Vortices, Pure and Applied Geophysics, 2016, Vol. 173, N 8, pp. 2945-2957. DOI 10.1007/s00024-016-1325-9. (Web of Science)

14. *Horton, W., H. Miura, O. Onishchenko, L. Couedel, C. Arnas, A. Escarguel, S. Benkadda, and V. Fedun,* Dust devil dynamics // J. Geophys. Res. Atmos., 121, doi:10.1002/2016JD024832, 2016. (Web of Science)
15. *Onishchenko O. G., Pokhotelov O. A., Horton W., and Fedun V.* Explosively growing vortices of unstably stratified atmosphere // J. Geophys. Res.: Atmospheres, 121, doi:10.1002/2016JD025961, 2016. (Web of Science)
16. *Altaisky M.V.* Unifying renormalization group and the continuous wavelet transform // Phys. Rev. D, 2016, v. 93, 105043; doi:10.1103/PhysRevD.93.105043 (Web of Science)

Книги

17. *Покровская И.В., Шарков Е.А.* Тропические циклоны и тропические возмущения Мирового океана: хронология и эволюция. Версия 5.1 (2011–2015). М.: КДУ, 2016. 163 с. ISBN 978-5-91304-661-1.
18. *Лебедев С.А., Костяной А.Г.* Изменения уровня и динамики вод Каспийского моря по данным спутниковой альтиметрии // Система Каспийского моря / под. ред. А.П. Лисицына, И.А. Немировской. М.: Науч. мир. 2016 (в печати)
19. Интенсивные атмосферные вихри и их динамика: теоретические проблемы, анализ данных, лабораторные эксперименты и численное моделирование., Москва, Издательство ГЕОС, 575 стр. (Редакторы: И.И.Мохов, М.В.Курганский, О.Г.Чхетиани) *(*подготовлена к печати*)*
20. Динамика волновых и обменных процессов в атмосфере, Москва, Издательство ГЕОС, 450 стр. (Редакторы: О.Г.Чхетиани , М.Е.Горбунов, С.Н.Куличков, И.А.Репина) *(*подготовлена к печати*)*
21. *Zolotarev V.V., Zubarev Y.B., Ovechkin G.V.* Optimization Coding Theory and Multithreshold Algorithms. Published in Switzerland by ITU. March 2016. 158 p., URL http://www.itu.int/pub/S-GEN-OCTMA-2015.

Публикации в отечественных научных рецензируемых изданиях

22. *Миклашевич Т.С., Барталев С.А.* Метод определения фенологических характеристик растительного покрова на основе временных рядов спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 1. С. 9-24. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-1-9-24 . (Импакт фактор 0,982, Scopus)
23. *Рыбалко Е.А., Баранова Н.В., Лупян Е.А., Толпин В.А., Кашницкий А.В., Уваров И.А., Крашенинникова Ю.С.* Организация работы с данными наземных и дистанционных наблюдений для решения задач дистанционного мониторинга виноградников // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 1. С. 79-92. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-1-79-92 . (Импакт фактор 0,982, Scopus)
24. *Лупян Е.А., Бурцев М.А., Крашенинникова Ю.С.* Наблюдение бесснежной зоны в долине реки Апукваям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 1. С. 213-216. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-1-213-216 . (Импакт фактор 0,982, Scopus)
25. *Лупян Е.А., Барталев С.А., Крашенинникова Ю.С.* Наблюдение аномально раннего развития сельскохозяйственных культур в южных регионах России весной 2016 года на основе данных дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 2. С. 240-243. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-2-240-243. (Импакт фактор 0,982, Scopus)
26. *Прошин А.А., Лупян Е.А., Балашов И.В., Кашницкий А.В., Бурцев М.А.* Создание унифицированной системы ведения архивов спутниковых данных, предназначенной для построения современных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 3. С. 9-27. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-9-27. (Импакт фактор 0,982, Scopus)

27. *Саворский В.П., Кашницкий А.В., Константинова А.М., Балашов И.В., Крашенинникова Ю.С., Толпин В.А., Маклаков С.М., Савченко Е.В.* Возможности анализа гиперспектральных индексов в информационных системах дистанционного мониторинга семейства «Созвездие-Вега» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 3. С. 28-45. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-28-45. (Импакт фактор 0,982, Scopus)
28. *Златопольский А.А.* Статистический анализ плотности хребтов и долин по цифровой модели рельефа // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 3. С. 209-216. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-209-216. (Импакт фактор 0,982, Scopus)
29. *Смагин С.И., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Бурцев М.А., Королев С.П., Прошин А.А., Крамарева Л.С.* Разработка методов и технологий для распределенного хранения и обработки данных дистанционных наблюдений окружающей среды // Вычислительные технологии. 2016. Т. 21. № 3. С. 70-79. (Импакт фактор 0,847)
30. *Кашницкий А.В., Лупян Е.А., Балашов И.В., Константинова А.М.* Технология создания инструментов обработки и анализа данных сверхбольших распределенных спутниковых архивов // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 9. С. 772-777. DOI: 10.15372/AOO20160908. (Импакт фактор 1,574)
31. *Сорокин А.А., Королев С.П., Гирина О.А., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Романова И.М.* Интегрированная программная платформа для комплексного анализа распространения пепловых шлейфов при эксплозивных извержениях вулканов Камчатки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 9-19. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-9-19. (Импакт фактор 0,982, Scopus)
32. *Ерошенко Ф.В., Барталев С.А., Сторчак И.Г., Плотников Д.Е.* Возможности дистанционной оценки урожайности озимой пшеницы на основе вегетационного индекса фотосинтетического потенциала //

Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 99-112. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-99-112. (Импакт фактор 0,982, Scopus)

33. *Лупян Е.А., Барталев С.А., Балашов И.В., Барталев С.С., Бурцев М.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Жарко В.О., Кашницкий А.В., Колбудаев П.А., Крамарева Л.С., Мазуров А.А., Оксюкевич А.Ю., Плотников Д.Е., Прошин А.А., Сенько К.С., Уваров И.А., Хвостиков С.А., Ховратович Т.С.* Информационная система комплексного дистанционного мониторинга лесов «Вега-Приморье» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 5. С. 11-28. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-5-11-28. (Импакт фактор 0,982, Scopus)

34. *Хвостиков С.А., Барталев С.А., Лупян Е.А.* Вероятностное прогнозирование развития природных пожаров методом Монте-Карло на основе интеграции в имитационную модель данных спутникового детектирования очагов горения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 5. С. 145-156. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-5-145-156. (Импакт фактор 0,982, Scopus)

35. *Егоров В.А., Барталев С.А.* Метод радиометрической коррекции искажений отражательных характеристик земного покрова в данных спутниковых измерений, вызванных влиянием рельефа местности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 5. С. 192-201. DOI: DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-5-192-201. (Импакт фактор 0,982, Scopus)

36. *Гордеев Е.И., Гирина О.А., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Крамарева Л.С., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Уваров И.А., Бурцев М.А., Романова И.М., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Королев С.П., Верхотуров А.Л.* Информационная система VOLSATVIEW для решения задач мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил // Вулканология и сейсмология. 2016. № 6. С. 1-16. (Импакт фактор 1,404, Web of science)2

37. *Арумов Г.П., Бухарин А.В., Тюрин А.В.* Нефелометр обратного рассеяния, использующий прямоугольный фрагмент лазерного импульса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 3. С. 198–206.
38. *Бухарин А.В., Арумов Г.П., Блих Ю.М., Макаров В.С., Тюрин А.В.* Модуляция излучения диодного лазера для формирования обратного сигнала, не зависящего от расстояния // Квантовая электроника. 2016. Т. 46. № 10. С. 877–882.
39. *Ванина-Дарт Л. Б., Шарков Е.А.* Основные результаты современных исследований физических механизмов взаимодействия тропических циклонов и ионосферы // Исследование Земли из космоса. 2016. № 3. С. 75–83.
40. *Ермаков Д.М., Чернушич А.П., Шарков Е.А.* Геопортал спутникового радиотепловидения: данные, сервисы, перспективы развития // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 3. С. 46–57. URL: http://elibrary.ru/item.asp?id=26300278. (ИФ РИНЦ – 0,535. Импакт-фактор 0.286. Scopus)
41. *Ермаков Д.М., Шарков Е.А., Чернушич А.П.* Анализ эволюции системы взаимодействующих тайфунов с помощью спутникового радиотепловидения // Исследование Земли из космоса. 2016. (в печати)
42. *Ермаков Д.М., Шарков Е.А., Чернушич А.П.* Спутниковое радиотепловидение на синоптических и климатических значимых масштабах // Исследование Земли из космоса. 2016. № 5. С. 3–9. URL: http://elibrary.ru/item.asp?id=26665242. (Импакт-фактор 1.242)
43. *Ермаков Д.М., Шарков Е.А., Чернушич А.П.* Мультисенсорный алгоритм спутникового радиотепловидения // Исследование Земли из космоса. 2016. № 3. С. 37–46. URL: http://elibrary.ru/item.asp?id=26068363 (Импакт-фактор 1.242)

44. *Ермаков С.А., Лаврова О.Ю., Капустин И.А., Макаров Е.В., Сергиевская И.А.* Исследование особенностей геометрии пленочных сликов на морской поверхности по данным спутниковых радиолокационных наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 3. С. 97–105. (Цит. SCOPUS, РИНЦ)

45. *Захаров А.В., Дольников Г.Г., Афонин В.В., Ляш А.Н., Лисин Е.А.* и др. Лунная пыль: свойства и методы исследований // Вестн. НПО им. С.И. Лавочкина. 2016. № 4. (в печати)

46. *Тихонов В.В., Раев М.Д., Шарков Е.А., Боярский Д.А., Репина И.А., Комарова Н.Ю.* Спутниковая микроволновая радиометрия морского льда полярных регионов: Обзор // Исследование Земли из космоса. 2016. № 4. С. 65-84. doi: 10.7868/S0205961416040072. (Цит. РИНЦ)

47. *Костяной А.Г., Булычева Е.В., Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Бочарова Т.Ю., Соловьев Д.М., Сирота А.М.* Беспрецедентный случай нефтяного загрязнения морской поверхности с судна в Юго-Восточной Балтике 23 июля 2016 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 277–281. (Цит. SCOPUS, РИНЦ)

48. *Лаврова О.Ю., Митягина М.И.* Особенности проявления на спутниковых изображениях гидродинамических процессов в областях интенсивного цветения фитопланктона // Исследование Земли из космоса. 2016. № 1-2. С. 145–160. (Цит. РИНЦ)

49. *Лаврова О.Ю., Сабинин К.Д.* Проявление тонкой структуры течений на спутниковом радиолокационном изображении Балтийского моря // Доклады академии наук. 2016. Т. 467. № 6. С. 713–717. (*Lavrova O.Yu., Sabinin K.D.* Fine spatial structure of flows on satellite radar image of the Baltic Sea // Doklady Earth Sciences. 2016. V. 467. Pt. 2. P. 427–431. ©Pleiades Publishing, Ltd., 2016) (Цит. SCOPUS, Web of Science и РИНЦ)

50. *Лаврова О.Ю., Сабинин К.Д.* Проявления инерционных колебаний на спутниковых изображениях морской поверхности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 60-73. (Цит. SCOPUS, РИНЦ)
51. *Серебряный А.Н.* Воздействие внутренних волн больших амплитуд на буксируемый гидродинамический заглубитель // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2016. Т. 9. № 2. С. 39–45. (Цит. РИНЦ)
52. *Сильвестрова К.П., Мысленков С.А., Зацепин А.Г., Краюшкин Е.В., Баранов В.И., Самсонов Т.Е., Куклев С.Б.* Возможности использования GPS-дрифтеров для исследования течений на шельфе Черного моря // Океанология. 2016. Т. 56. № 1. С. 159–166.
53. *Тихонов В.В., Боярский Д.А., Полякова О.Н.* Анализ оптических постоянных магнетита, пирита и халькопирита в микроволновом диапазоне с помощью метода Крамерса-Кронига // Оптика и спектроскопия. 2017. Т. 122. № 3. (в печати) (Цит. РИНЦ).
54. *Тихонов В.В., Раев М.Д., Шарков Е.А., Боярский Д.А., Репина И.А., Комарова Н.Ю.* Спутниковая микроволновая радиометрия морского льда полярных регионов // Исследование Земли из космоса. 2016. № 4. С. 65–84.
55. *В. Тюрин С.А., Князев Н.А., Бойко В.А., Палатов Ю.А.* Оперативное планирование высокодетальной съёмки Земли с распознаванием безоблачных участков на борту космического аппарата // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 8 с. (в печати).
56. *Г. П. Арумов, А. В. Бухарин, А. В. Тюрин*. Нефелометр обратного рассеяния, использующий прямоугольный фрагмент лазерного импульса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. No 3. С. 198–206.
57. *А. В. Бухарин, Г. П. Арумов, Ю. М. Блих, В. С. Макаров, А. В. Тюрин* Модуляция излучения диодного лазера для формирования обратного сигнала, не зависящего от расстояния // Квантовая электроника". 2016. Т. 46. № 10. С. 877 - 882.

58. *Н.И. Ижовкина, С.Н. Артеха, Н.С. Ерохин, Л.А. Михайловская,* Спиральные токовые структуры в аэрозольной атмосферной плазме // Инженерная физика. 2016. № 7. С. 57-68.

59. *Н.И. Ижовкина, С.Н. Артеха, Н.С. Ерохин, Л.А. Михайловская* Вихревые структуры в аэрозольной атмосферной плазме // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 157-167.

60. *Кудашев Е.Б.* Работа акустического приемника в поле псевдозвуковых турбулентных давлений // Акустический журнал, 2017 (принято к печати).

61. *Гохберг М.Б., Ольшанская Е.В., Чхетиани О.Г., Шалимов С.Л., Барсуков О.М.* О связи крупномасштабных движений в жидком ядре земли с геомагнитными джерками, землетрясениями и вариациями продолжительности суток // Доклады Академии Наук. 2016. том 467. № 1. С. 91–94.

62. *Калашник М. В., Хапаев А.А., Чхетиани О.Г.* О циклон-антициклонной асимметрии в устойчивости вращающихся сдвиговых течений // Известия. Механика жидкости и газа. 2016. № 2. С. 44–55.

63. *Артамонова М.С., Губанова Д.П., Иорданский М.А., Лебедев В.А., Максименков Л.О., Минашкин В.М., Обвинцев Ю.И., Чхетиани О.Г.* Вариации массовой концентрации и состава приземного аэрозоля степной зоны юга России в летний период // Геофизические процессы и биосфера. 2016. Т. 15. № 1. С. 5–24.

64. *Романова Н.Н., Чхетиани О.Г., Якушкин И. Г.* Влияние нелинейных взаимодействий на развитие неустойчивости в волновых гидродинамических системах // ЖЭТФ. 2016. том 149. вып. 5. С. 1043–1056.

65. *Чхетиани О.Г., Шалимов С.Л.* Неустойчивости экмановского типа на границе ядро-мантия// Известия РАН. Физика земли. 2016. №3. С. 3-9.

66. *Калашник М.В., Чхетиани О.Г.* Об устойчивости струйных течений во вращающемся слое мелкой воды // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2016. № 5. С.29-42.
67. *Зубарев Ю.Б., Золотарёв В.В., Овечкин Г.В., Овечкин П.В.* Итоги 25-летнего развития оптимизационной теории кодирования // Наукоемкие технологии. 2016. Т. 17. № 3. С. 26–32.
68. *Золотарёв В.В., Овечкин Г.В.* Новые средства коррекции ошибок для высокоскоростной передачи и хранения данных // Радиотехника. 2016. №8. С. 104-109.
69. *Золотарёв В.В., Овечкин Г.В., Овечкин П.В.* Программная реализация многопороговых декодеров с использованием GPU // Радиотехника. 2016. №X. (статья принята к печати).

Публикации в сборниках материалов конференций

70. *Гордеев Е.И., Гирина О.А., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Романова И.М., Крамарева Л.С., Ефремов В.Ю., Кобец Д.А., Кашницкий А.В., Королев С.П., Бурцев М.А., Самойленко С.Б.* Комплексный анализ данных об эксплозивных извержениях вулканов Камчатки в ИС VolSatView // Материалы региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящённой Дню вулканолога, 29 - 30 марта 2016 г. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2016. С. 53-64.
71. *Балашов И.В., Сычугов И.Г., Сенько К.С.* Автоматизированная система построения оперативной отчетности о площадях, пройденных лесными пожарами // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: Доклады VI Всероссийской конференции (Москва, 20-22 апреля 2016 г.) - М.: ЦЭПЛ РАН, 2016. С. 4-7.
72. *Ершов Д.В., Барталев С.А., Исаев А.С., Сочилова Е.Н., Стыценко Ф.В.* Метод оценки пожарных эмиссий парниковых газов с использованием

спутниковых данных: результаты применения для лесов России в 21 веке // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: Доклады VI Всероссийской конференции (Москва, 20-22 апреля 2016 г.) - М.: ЦЭПЛ РАН, 2016. С. 12-17.

73. *Лупян Е.А., Барталев С.А., Ершов Д.В.* Организация работы со спутниковыми данными в ИСДМ-Рослесхоз // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: Доклады VI Всероссийской конференции (Москва, 20-22 апреля 2016 г.) - М.: ЦЭПЛ РАН, 2016. С. 39-42.

74. *Лупян Е.А., Барталев С.А., Ершов Д.В., Стыценко Ф.В.* Методика оценки площадей, пройденных лесными пожарами, на основе данных спутниковых наблюдений // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: Доклады VI Всероссийской конференции (Москва, 20-22 апреля 2016 г.) - М.: ЦЭПЛ РАН, 2016. С. 43-46.

75. *Хвостиков С.А., Барталев С.А., Балашов И.В., Лупян Е.А.* Система оценки и прогноза динамики лесных пожаров на основе данных дистанционного зондирования // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: Доклады VI Всероссийской конференции (Москва, 20-22 апреля 2016 г.) - М.: ЦЭПЛ РАН, 2016. С. 71-73.

76. *Стыценко Ф.В., Барталев С.А., Егоров В.А., Барталев С.С.* Метод выявления постпожарных усыханий лесов на основе спутниковых данных MODIS // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: Доклады VI Всероссийской конференции (Москва, 20-22 апреля 2016 г.) - М.: ЦЭПЛ РАН, 2016. С. 147-149.

77. *Кашницкий А.В., Барталев С.С., Ефремов В.Ю., Стыценко Ф.В.* Картографирование гарей на основе спутниковых данных высокого

пространственного разрешения в информационных системах дистанционного мониторинга природных пожаров // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: Доклады VI Всероссийской конференции (Москва, 20-22 апреля 2016 г.) - М.: ЦЭПЛ РАН, 2016. С. 177-181.

78. *Кобец Д.А., Балашов И.В., Сычугов И.Г., Толпин В.А.* Построение на основе BI-технологий инструментов анализа информации о состоянии лесов, получаемой на основе данных спутниковых наблюдений // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: Доклады VI Всероссийской конференции (Москва, 20-22 апреля 2016 г.) - М.: ЦЭПЛ РАН, 2016. С. 24-28.

79. *Лупян Е.А., Савин И.Ю., Толпин В.А., Нестеренко А.А.* Оперативный спутниковый мониторинг посевов и прогнозирование урожайности // Земельные ресурсы и продовольственная безопасность Центральной Азии и Закавказья, 2016. С. 250-274.

80. *Gordeev E.I., Loupian E.A., Girina O.A., Corokin A.A.* Volsatview Information System Capabilities for Studing Kamchatka and Northern Kurilies Volcanic Activity // Proceedings of the IV International Conference "Modern Information Technologies in Earth Sciences", Yuzhno Sakhalinsk, 7-11 August, 2016.

81. *Лупян Е.А., Балашов И.В., Бурцев М.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Кобец Д.А., Крашенинникова Ю.С., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А., Флитман Е.В.* Новые возможности технологий построения информационных систем дистанционного мониторинга // Материалы III Международной научной конференции " Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли". Красноярск. 13-16 сентября 2016 г. научный редактор Е.А.Ваганов; ответствеенный редактор. М.В. Носков. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. С. 24-28.

82. *Lavrova O.Yu.*, *Soloviev D.M.*, *Strochkov M.A.*, *Bocharova T.Yu.*, *Kashnitsky A.V.* River plumes investigation using Sentinel-2A MSI and Landsat-8 OLI data // Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2016 / eds. C.R. Bostater, X. Neyt, C. Nichol, O. Aldred: Proc. SPIE. 2016. V. 9999. 99990G. doi: 10.1117/12.2241312 (Цит. SCOPUS, Web of Science).
83. *Lebedev S.* Investigation Hydrometeorological Regime of the White Sea Based on Satellite Altimetry Data // Proc. Living Planet Symposium 2016. Czech Republik, Prague, 9–13 May 2016 / ed. L. Ouwehand. Noordwijk: ESA Publications Division. 2016. SP-740. ISBN 978-92-9221-305-3. ISSN 1609-042X. 5 p. (Цит. SCOPUS)
84. *Lebedev S.* Investigation Seasonal and Interannual Variability of the Caspian Sea Dynamics Based on Satellite Altimetry Data // Proc. Living Planet Symposium 2016. Czech Republik, Prague, 9–13 May 2016 / ed. L. Ouwehand. Noordwijk: ESA Publications Division. 2016. SP-740. ISBN 978-92-9221-305-3. ISSN 1609-042X. 7 p. (Цит. SCOPUS)
85. *Mityagina M.I., Lavrova O.Yu.* Results of the Caspian Sea satellite survey: internal wave climate // Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2016 / eds. C.R. Bostater, X. Neyt, C. Nichol, O. Aldred: Proc. SPIE. 2016. V. 9999. 99991B. doi: 10.1117/12.2241656 (Цит. SCOPUS, Web of Science).
86. *Нижниковская О.Ю., Лебедев С.А.* Верификация данных спутниковой альтиметрии на акватории Балтийского моря // Тр. Конгресса молодых учёных-географов «ГеоПоиск – 2016». Тверь, 3–10 окт., 2016 (Цит. РИНЦ)
87. *Сячинов В.И.* "О возможности измерения оптической толщины атмосферы Земли с ИСЗ". // Четырнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", Москва. ИКИ РАН. 14-18 ноября 2016. Сборник тезисов конференции. 2016. С. 217. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5598

88. *Втюрин С.А., Князев Н.А., Бойко В.А., Палатов Ю.А.* "Методы и алгоритмы автоматического распознавания безоблачных участков на борту космического аппарата" // IV Всероссийская научная конференция «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды», г. Санкт-Петербург, 20- 21 апреля 2016 г. Материалы IV Всероссийской научной конференции «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды» / под общ. ред. Ю.В. Кулешова. – СПб.: ВКА имени А.Ф.Можайского, 2016. С. 760-764. http://www.academy-mozhayskogo.ru/docs/pr_knf_10_2016.pdf
89. *Втюрин С.А., Князев Н.А., Бойко В.А., Палатов Ю.А.* "Оперативное планирование высокодетальной съёмки Земли с распознаванием безоблачных участков на борту космического аппарата" // Четвертая международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли», г. Москва, 19 мая 2016 г. Тезисы докладов Четвертой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». – М. : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2016. С. 169-171. http://www.vniiem.ru/ru/uploads/files/conferences/160519/sbornik_tezisov_2016.pdf
90. *Князев Н.А., Палатов Ю.А.* "Вопросы гидрометеорологического обеспечения прогнозно-ситуационного моделирования переноса примесей в атмосфере» // II-й Международный военно-технический форуме «Армия-2016». Круглый стол «Современные и перспективные технологии гидрометеорологического обеспечения в интересах войск (сил)». КВЦ «Патриот». Кубинка. Московская область. 8 сентября 2016. С. 1 http://mil.ru/files/morf/Programma_day-8_september.pdf
91. *Втюрин С.А., Князев Н.А., Бойко В.А., Палатов Ю.А.* "Повышение эффективности высокодетального наблюдения Земли со спутников в условиях частичной облачности" // Четырнадцатая Всероссийская

открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН. 14-18 ноября 2016. Сборник тезисов конференции. 2016. С. 141. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5655

92. *Городецкий А.К.* Угловое распределение спектральной яркости в инфракрасном диапазоне спектра в области горизонта // Четырнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН. 14-18 ноября 2016. Сборник тезисов конференции. 2016.

93. *Ерохин Н.С., Михайловская Л.А., Зольникова Н.Н., Артеха С.Н., Лазарев А.А.* Расчеты на основе малопараметрической модели динамики крупномасштабного циклогенеза при быстрых вариациях фоновой обстановки // Четырнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН. 14-18 ноября 2016. Сборник тезисов конференции. 2016. С.

94. *Левина Г.В.* Спиральный тропический циклогенез: возможность управлять формированием ураганов // Четырнадцатая Всероссийская Открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва. ИКИ РАН. 14-18 ноября 2016. Сборник тезисов конференции. 2016. С. 460. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5727

95. *Левина Г.В., Зольникова Н.Н., Михайловская Л.А.* Численное исследование процесса генерации спиральности в тропической атмосфере Земли // Четырнадцатая Всероссийская Открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН. 14-18 ноября 2016 г. Сборник тезисов конференции. 2016. С. 188. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5577

96. *Суслов А.И., Ерохин Н.С., Михайловская Л.А., Артеха С.Н. , Гусев А.А.* Моделирование прохождения крупномасштабных ВГВ из тропосферы в ионосферу // Четырнадцатая Всероссийская Открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва. ИКИ РАН. 14-18 ноября 2016. Сборник тезисов конференции. 2016.
97. *Арумов Г. П., Бухарин А. В.* "Использование ненормализованных моментов для определения эквивалентного сечения частиц по их изображениям" // Тезисы четырнадцатой Всероссийской открытой ежегодной конференции «Дистанционное зондирование Земли из космоса» (Дистанционные методы исследования атмосферных и климатических процессов). ИКИ РАН. 14-18 ноября 2016 год. Москва. Принята к публикации.
98. *Е.Б. Кудашев* Турбулентные спектры и шумы обтекания в турбулентном пограничном слое. Акустика океана. Доклады XV Школы-семинара им. акад. Л.М. Бреховских совмест. с XXIX Сессией Российского Акустического Общества. С. 329-324. М.: Институт Океанологии РАН, 2016.
99. *Е.Б. Кудашев, И.Е. Сафронов.* Моделирование разрешающей способности регистрации турбулентных пульсаций в турбулентном пограничном слое. Ломоносов. чтения. Научная конференция МГУ. Секция механики. Апрель 2016 г. Москва. МГУ им. М.В. Ломоносова - М.: Изд-во МГУ. 2016.
100. *Efim Kudashev, Alexander Belov, Natalya Kalenova* Satellite Data Infrastructures. Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных: XVIII Международная конференция DAMDID/RCDL’2016: Труды конференции. - М.: ФИЦ Информатика и Управление РАН, 2016. С. 285-288
101. *Е.Б. Кудашев, В.С. Карпенко, И.Е. Сафронов.* Большие данные и формирова-ние распределенной среды интегрированных информационных ресурсов. Ломоносовские чтения. Научная конференция МГУ. Секция механики. Апрель 2016 г. Москва. Изд-во МГУ, 2016.

Тезисы, доклады, циркуляры

102. *Кобец Д.А., Матвеев А.М., Мазуров А.А., Кашницкий А.В., Бурцев М.А., Прошин А.А.* BI аналитика в анализе статистики работы процессов обработки спутниковых данных // XIII Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования", Тезисы докладов, 13-15 апреля, 2016. С. 43.

103. *Колбудаев П.А., Барталев С.А., Плотников Д.Е.* Развитие методов обработки спутниковых данных Метеор-М2/КМСС для решения задач картографирования растительного покрова // XIII Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования", Тезисы докладов, 13-15 апреля, 2016. С. 46.

104. *Константинова А.М., Кашницкий А.В., Балашов И.В.* Инструменты для работы со спектральными индексами спутниковых данных // XIII Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования", Тезисы докладов,13-15 апреля, 2016. С. 49.

105. *Самофал Е.В., Барталев С.А., Плотников Д.Е.* Исследование возможностей распознавания сельскохозяйственных культур по данным Sentinel-1A // XIII Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования", Тезисы докладов, 13-15 апреля, 2016. С. 86.

106. *Сычугов И.Г., Балашов И.В., Сенько К.С.* Автоматизированная система построения оперативной отчетности о площадях, пройденных лесными пожарами // XIII Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования", Тезисы докладов, 13-15 апреля, 2016. С. 93.

107. *Хвостиков С.А.* Метод уточнения фронта горения на основе ассимиляции данных в имитационную модель природного пожара и его валидация по данным высокого разрешения // XIII Конференция молодых

ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования", Тезисы докладов, 13-15 апреля, 2016. С. 96.

108. *Кашницкий А.В., Лупян Е.А., Прошин А.А., Балашов И.В.* Унифицированная система ведения архивов спутниковых данных и результатов их обработки // Четвертая международная научно-техническая конференция "Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли"", АО "Корпорация "ВНИИЭМ". Тезисы докладов, 2016. С. 152-153.

109. *Саворский В.П., Котельников Р.В., Барталев С.А., Лупян Е.А., Маклаков С.М., Ховратович Т.С.* Развитие дистанционных автоматизированных методов контроля соблюдения лесного законодательства при проведении рубок // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 54.

110. *Колбудаев П.А., Барталев С.А., Плотников Д.Е., Матвеев А.М.* Технология обработки спутниковых данных Landsat-TM/ETM+ // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 37.

111. *Береза О.В., Страшная А.И., Барталев С.А.* Возможности расчётов количественной оценки состояния озимых зерновых культур в период прекращения вегетации в Центральном федеральном округе России на основе комплексирования наземных и спутниковых данных // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 77.

112. *Бурцев М.А., Уваров И.А., Крамарева Л.С., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Чудин А.О., Дедух А.В., Четырин Ю.* Организация работы с данными спутника Himawari-8 в информационных сервисах оперативного

мониторинга дальневосточного региона // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С . 80.

113. *Гирина О.А., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Крамарева Л.С., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Уваров И.А., Бурцев М.А., Романова И.М., Королев С.П., Верхотуров А.Л.* Мониторинг вулканов Камчатки и Северных Курил с помощью ИС VolSatView // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 83.

114. *Кашницкий А.В., Бриль А.А., Бурцев М.А., Самофал Е.В., Уваров И.А., Матвеев А.М.* Возможности работы с данными спутника Sentinel-1 в информационной системе VEGA-Science // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 93.

115. *Кашницкий А.В., Прошин А.А., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Константинова А.М.* Реализация механизма виртуальных продуктов в унифицированной системе ведения архивов спутниковых данных UNISAT // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 94.

116. *Лупян Е.А., Барталев С.А.* Перспективы развития российской системы дистанционного мониторинга лесных пожаров ИСДМ-Рослесхоз на основе современных спутниковых систем и технологий // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 108.

117. *Мальковский С.И., Сорокин А.А., Лупян Е.А., Гирина О.А., Балашов И.В., Королев С.П., Ефремов В.Ю., Верхотуров А.Л., Романова И.М.* Комплексный анализ распространения пепловых шлейфов во время эксплозивных извержений вулканов Камчатки по данным спутниковых наблюдений и результатам численного моделирования // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 109.

118. *Сорокин А.А., Прошин А.А., Королев С.П., Бурцев М.А., Мальковский С.И., Лупян Е.А., Смагин С.И.* Анализ возможностей облачных технологий для распределённого хранения и обработки данных дистанционных наблюдений с целью мониторинга состояния окружающей среды // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 122.

119. *Балашов И.В., Барталев С.А., Барталев С.С., Бурцев М.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Крамарева Л.С., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Сенько К.С., Уваров И.А.* Возможности информационной системы комплексного дистанционного мониторинга лесов "Вега-Приморье" // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 71.

120. *Балашов И.В., Мазуров А.А., Ефремов В.Ю., Сенько К.С., Чудин А.О., Гуцалов О.В., Ян В.Д.* Опыт использования данных спутника Himawari-8 в информационных системах мониторинга природных пожаров // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С.72.

121. *Бурцев М.А., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Матвеев А.М., Толпин В.А., Милехин О.Е., Соловьев В.И.* Новые возможности объединенной системы распределенной работы с данными центров приема НИЦ "Планета" // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 79.

122. *Дегай А.Ю., Пырков В.Н., Черных В.Н., Солодилов А.В.* Оценка эффективности интеграции дополнительных данных в ОСМ // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 86.

123. *Кашницкий А.В., Балашов И.В., Толпин В.А., Барталев С.А.* Инструменты сервиса Вега-Science для уточнения карт растительного покрова с использованием спутниковой информации различного пространственного разрешения // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 92.

124. *Кобец Д.А., Толпин В.А., Балашов И.В.* BI-инструменты для анализа карт растительного покрова в информационных сервисах Вега-Созвездие // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 99.

125. *Константинова А.М., Кашницкий А.В., Балашов И.В., Марченков В.В., Саворский В.П.* Инструменты построения различных гиперспектральных индексов в информационных системах дистанционного мониторинга Созвездие-Вега // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы

дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 102.

126. *Марченков В.В., Толпин В.А., Уваров И.А.* Инструменты анализа рядов данных с помощью графиков в системах семейства «Созвездие Вега» // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 110.

127. *Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Крашенинникова Ю.С., Толпин В.А., Радченко М.В., Юдин Д. А.* Текущие возможности центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 116.

128. *Сычугов И.Г., Балашов И.В., Сенько К.С., Ершов Д.В.* Система оперативной отчетности о пожарах, зарегистрированных на основе данных спутникового мониторинга // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 124.

129. *Руткевич П.Б., Голицын Г.С., Руткевич Б.П., Шелехов А.П.* Относительная влажность в подоблачном слое и высота нижней границы облачности // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 208.

130. *Дегай А.Ю., Андреев М.В., Егоров В.А., Пырков В.Н., Черных В.Н.* Исследование возможности повышения эффективности методов обработки спутниковых данных для представления ледовой обстановки в районах

рыболовного морского промысла // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН. 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 253.

131. *Гордеев Е.И., Гирина О.А., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В., Крамарева Л.С., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Уваров И.А., Бурцев М.А., Романова И.М., Королев С.П., Мальковский С.И.* Оценка опасности эксплозивных извержений вулканов Камчатки и Северных Курил с помощью ИС VolSatView // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 329.

132. *Егоров В.А., Барталев С.А.* Топографическая нормализация данных дистанционного зондирования Земли при картографировании лесов // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 365.

133. *Лупян Е.А., Барталев С.А., Ершов Д.В., Стыценко Ф.В.* Методика оценки площадей, пройденных лесными пожарами, на основе спутниковых данных различного пространственного разрешения // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 396.

134. *Плотников Д.Е., Колбудаев П.А., Барталев С.А.* Автоматическое распознавание используемых пахотных земель на основе временных серий синтезированных ежедневных изображений Landsat на территорию Приморского края // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 387.

135. *Хвостиков С.А., Барталев С.А.* Метод уточнения положения фронта природного пожара на основе ассимиляции данных различных спутниковых аппаратов в вероятностную модель распространения огня // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 404.

136. *Шабанов Н.В., Барталев С.А.* Разработка 250м MODIS LAI продукта для мониторинга сельскохозяйственных территорий России // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 407.

137. *Жарко В.О., Барталев С.А., Егоров В.А.* Использование спутниковых данных PROBA-V для оценки запасов стволовой древесины на территории Приморского Края // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 368.

138. *Толпин В.А., Рыбалко Е.А., Баранова Н.В., Кашницкий А.В., Лупян Е.А.* Формирование информационной базы спутниковых и наземных данных для отработки методик дистанционного мониторинга виноградарства в Республике Крым // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С.402.

139. *Самофал Е.В., Барталев С.А.* Исследование возможности распознавания посевов подсолнечника по данным Sentinel-1A методом искусственных нейронных сетей // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 393.

140. *Толпин В.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Ладонина Н.Н., Елкина Е.С.* Возможности системы VEGA-GEOGLAM для мониторинга состояния сельскохозяйственных культур и посевов на территории таможенного союза // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 401.

141. *Гирина О.А., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Крамарева Л.С., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Уваров И.А., Бурцев М.А., Романова И.М., Королев С.П., Верхотуров А.Л.* ИС VolSatView для изучения вулканизма Камчатки и Курил и снижения вулканоопасности (мастер-класс) // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 457.

142. *Лупян Е.А.* Современные возможности и тенденции развития технологий построения информационных систем дистанционного мониторинга // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 461.

143. *Лупян Е.А., Барталев С.А., Толпин В.А., Крашенинникова Ю.С.* Возможности использования пространственно-временных вегетационных индексов на примере анализа аномальных условий развития озимых культур на Европейской части России в 2016 году // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 382.

144. *Барталев С.А., Егоров В.А., Ершов Д.В., Жарко В.О., Колбудаев П.А., Лупян Е.А., Плотников Д.Е.* Развитие возможностей регионального

спутникового картографирования растительного покрова на примере Приморского края // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016.Тезисы докладов, 2016. С. 347.

145. *Кобец Д.А., Матвеев А.М., Бурцев М.А., Мазуров А.А., Прошин А.А.* Управление работой крупных распределенных комплексов автоматической потоковой обработки спутниковых данных // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016.Тезисы докладов, 2016. С. 98.

146. *Барталев С.А., Саворский В.П., Котельников Р.В., Панова О.Ю., Кузнецов О.О., Соловей А.С., Васильев В.С.* Алгоритмы оценок ущерба от незаконных рубок по данным дистанционного мониторинга // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016.Тезисы докладов, 2016. С. 348.

147. *Bartalev S. A.* Potential of Cubesats for land cover dynamics study // ISSI FORUM “Performing High□Quality Science on CubeSats”, January 19-20. 2016. Bern. Switzerland.

148. *Bartalev S.A., Zharko V.O., Egorov V.A.* Use of the GlobBiomass GSV product for Russian forests characterization // 1st User Workshop of the GlobBiomass project, 02-03 February. 2016. IIASA. Laxenburg. Австрия.

149. *Лупян Е.А., Барталев С.А., Толпин В.А.* Возможности применения сервиса спутникового мониторинга Вега-PRO в сельском хозяйстве // научно-практическая конференция "Точное земледелие", 31 марта. 2016. Москва.

150. *Bartalev S. A.* Earth Observation for Land Cover/ Land Use Monitoring : an overview of IKI R&D activity // Space Research Colloquium, German Aerospace Center (DLR), 29-30 марта. 2016. Мюнхен. Германия.

151. *Bartalev S.A., Loupian E.A., Plotnikov D.E., Tolpin V.A.* Earth Observations based agricultural monitoring over EEU countries: concept and first results of the SIGMA-RBK project // IAAE Inter Conference Symposium “Agricultural Transitions along the Silk Road Restructuring, Resources and Trade in the Central Asia Region”, 4 6 April. 2016. Almaty. Kazakhstan.

152. *Лупян Е.А.* Современные возможности и тенденции организации работы с данными ДЗЗ в научных проектах // научный семинар ИГРАН, 14 апреля. 2016. Москва.

153. *Лупян Е.А., Барталев С.А.* Информационная система космического мониторинга лесов Приморского края «Вега-Приморье» // Администрация Приморского края, 28 апреля. 2016. Владивосток.

154. *Лупян Е.А.* Современные возможности использования технологий спутникового мониторинга и задачи агрострахования // Семинар "Использование новейших технологий и сервисов для мониторинга сельскохозяйственных земель и агрострахования", 24 мая. 2016. Москва. ИКИ РАН.

155. *Стыценко Ф.В., Балашов И.В., Хвостиков С.А., Лупян Е.А.* Спутниковая пирогеография и пространственно-временные особенности пожаров в наземных экосистемах России // Вторая всероссийская конференция «География, общество, окружающая среда», 31 мая – 1 июня. 2016. Москва.

156. *Bartalev S.A.* VEGA web-based EO data analysis facility for global forest monitoring // международный семинар "What is a “Good Enough” Forest Monitoring System?", 25 мая. 2016. Бонн. Германия.

157. *Лупян Е.А., Барталев С.А.* Возможности использования современных систем работы с данными спутниковых наблюдений для решения задач экологического мониторинга // XII Международная научная конференция ""Физика и Радиоэлектроника в Медицине и Экологии" (ФРЭМЭ 2016), 5 июля. 2016. Владимир.

158. *Смагин С.И., Лупян Е.А., Королев С.П., Сорокин А.А., Мальковский С.И., Бурцев М.А., Прошин А.А.* Анализ возможностей облачных технологий для распределенного хранения и обработки данных дистанционных наблюдений с целью мониторинга состояния окружающей среды // 4-я Всероссийская научно-техническая конференция "Суперкомпьютерные технологии" (СКТ-2016), 19 - 24 сентября. 2016. с. Дивноморское Геленджикского района.

159. *Елкина Е.С.* Возможности применения сервиса спутникового мониторинга Вега-Pro в сельском хозяйстве // Круглый стол «Инновационные технологии управления в сельском хозяйстве», Неделя Инноваций, 12 октября. 2016. Ессентуки.

160. *Барталев С.А.* Спутниковая оценка состояния и динамики лесных ресурсов России: методология, результаты, перспективы // Всероссийская научная конференция «Научные основы устойчивого управления лесами», 25-27 октября. 2016. Москва.

161. *Лупян Е.А., Оксюкевич А.Ю.* Возможности современных информационных сервисов работы с данными ДЗЗ для обеспечения процесса агрострахования» (текущие возможности системы Вега-Pro) // V международная отраслевая конференция "Агроуправление-2016", 26-28 октября. 2016. Белгород.

162. *Bartalev S.A.* Russian Academy of Sciences R&D contribution to GEOGLAM // GEO-XIII Plenary. 7-10 November 2016, St Petersburg. Russian Federation.

163. *Elkina E.S.* VEGA-GEOGLAM as a tool for Capacity Development // GEO-XIII Plenary. 7-10 November 2016, St Petersburg. Russian Federation.

164. *Ermakov D.M., Chernushich A.P. D*evelopment of network services of the geoportal of satellite radiothermovision // Modern Information Technologies in Earth Sciences: Proc. 4th Intern. Conf. 7–11 Aug. 2016, Yuzhno-Sakhalinsk, 2016. Владивосток: Дальнаука, 2016. P. 51.

165. *Kuznetcov A., Lisin E.A., Zakharov A.V., Lyash A.N.* et al. Ground-Based Dusty Exosphere simulation chamber for the developing and calibration of Lunar Lander instruments // The Program and Abstr. Book 7th Moscow Solar System Symposium (7M-S3). Moscow, IKI RAN, 10–14 Oct. 2016. 7MS3-PS-56. 2016. P. 268.

166. *Kuznetcov A., Zakharov A.V., Hess S.L.G., Lyash A.N.* et al. Lunar dusty plasma and spacecraft instruments interaction: SPIS-Dust simulation // The Program and Abstr. Book 7th Moscow Solar System Symposium (7M-S3). Moscow, IKI RAN, 10–14 Oct. 2016. 7MS3-DP-08. P. 106.

167. *Kuznetsov I.A., Zakharov A.V., Dolnikov G.G., Lyash A.N.* et al. Simulation of the lunar dusty plasma exosphere interactions with the "Luna-Glob" spacecraft // 14th Spacecraft Charging Technology Conf. ESA/ESTEC. Nederland, 4–8 Apr. 2016: Proc.

168. *Lavrova O.* Earth Observation for Oceanic and Arctic Regions // Proc. Space Research Colloquium DLR-IKI. 29–30 March 2016, DLR Oberpfaffenhoffen, Germany (www.DLR.de)

169. *Lavrova O.Y., Mityagina M.I., Bocharova T.Y., Strochkov A.Y.* Assessing the ecological state of the Barents and Kara Seas from satellite remote sensing data // Abstr. Book SPIE Remote Sensing Symposium 2016. 26–29 Sept. 2016, Edinburgh, United Kingdom, 9999-34. URL: www.spie.org/rs.

170. *Lavrova O.Y., Soloviev D.M., Strochkov M.A., Bocharova T.Yu., Kashnitsky A.V.* River plumes investigation using Sentinel-2A MSI and Landsat-8 OLI data // Abstr. Book SPIE Remote Sensing Symposium 2016. 26–29 Sept. 2016, Edinburgh, United Kingdom, 9999-14. URL: www.spie.org/rs.

171. *Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Bocharova T.Yu., Kostianoy A.G.* Determining zones of persistent ecological risk in the Baltic Sea // Abstr. Book Living Planet Symposium 2016. 9–13 May, 2016, Prague, Czech Republic, OCEA-89. URL: http://lps16.esa.int.

172. *Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Bocharova T.Yu., Soloviev D.M.* Estimating the influence of hydrodynamic processes on pollution transport in the

western Black Sea // Abstr. Book Living Planet Symposium 2016. 9–13 May, 2016, Prague, Czech Republic, OCEA-72. URL: http://lps16.esa.int.

173. *Lebedev S.A.* Climatic Variability of the Caspian Sea Current System based on Satellite Altimetry // Abstr. Book he Pan Ocean Remote Sensing Conference (PORSEC) 2016. 8–11 Nov. 2016, Fortaleza – Ceará – Brazil. URL: http://porsec2016.virtual.ufc.br/@files/porsec2016_schedule_detailed.pdf.

174. *Lebedev S.A.* Investigation hydrometeorological regime of the White Sea based on satellite altimetry data // Abstr. Book Living Planet Symposium 2016. 9–13 May, 2016, Prague, Czech Republic, OCEA-58. URL: http://lps16.esa.int.

175. *Lebedev S.A.* Investigation seasonal and interannual variability of the Caspian Sea dynamics based on satellite altimetry data // Abstr. Book Living Planet Symposium 2016. 9–13 May, 2016, Prague, Czech Republic, OCEA-56. URL: http://lps16.esa.int.

176. *Mityagina M.I., Lavrova O.Yu.* Main results of the long-term satellite survey of the Black Sea: surface oil pollution // Abstr. Book Living Planet Symposium 2016. 9–13 May, 2016, Prague, Czech Republic, OCEA-14. URL: http://lps16.esa.int.

177. *Mityagina M.I., Lavrova O.Yu.* Mapping the Caspian Sea surface oil pollution on the base of satellite data // Abstr. Book Living Planet Symposium 2016. 9–13 May, 2016, Prague, Czech Republic, OCEA-13. http://lps16.esa.int.

178. *Mityagina M.I., Lavrova O.Yu.* Results of the Caspian Sea satellite survey: internal wave climate // Abstr. Book SPIE Remote Sensing Symposium 2016. 26-29 September, 2016, Edinburgh, United Kingdom, 9999-46. URL: www.spie.org/rs.

179. *Mityagina M.I., Lavrova O.Yu.* Satellite survey of the Black Sea surface pollution // Abstr. Book SPIE Remote Sensing Symposium 2016. 26–29 Sept. 2016, Edinburgh, United Kingdom, 9999-8. URL: www.spie.org/rs.

180. *Nazirova K., Lavrova O.* Coastal dynamics process in the Northeastern part of the Black sea // Abstr. Book The 48th Intern. Colloquium of Ocean

Dynamics. 23–27 May 2016, Liege, Belgium. URL: http://labos.ulg.ac.be/gher/colloquium/colloquium-2016.

181. *Nazirova K., Lavrova O.* Estimating the Influence of Hydrodynamic Processes on Pollution Transport in the Black Sea // Abstr. Book Black Sea from Space Workshop. 28–30 Sept. 2016, Constanta, Romania. P. 23. URL: http://esaconferencebureau.com/docs/default-source/16c17/abstract-book.pdf?sfvrsn=0.

182. *Repina I., Tikhonov V., Komarova N., Raev M., Sharkov E.* Melt ponds and marginal ice zone from new algorithm of sea ice concentration retrieval // EGU General Assembly 2016. Vienna, Austria, 17–22 Apr. 2016: Geophysical Research Abstracts. 2016. V. 18. EGU2016-11757. (SCOPUS). URL: http://adsabs.harvard.edu/abs/2016EGUGA..1811757R.

183. *Serebryany A., Lavrova O.* Internal Waves in the Black Sea: Studies by Usual and Remote Sensing Methods // Abstr. Book Black Sea from Space Workshop, 28-30 September, 2016, Constanta, Romania. P. 16. URL: http://esaconferencebureau.com/docs/default-source/16c17/abstract-book.pdf?sfvrsn=0.

184. *Zakharov A.V., Dolnikov G.G., Kuznetcov I.A., Lyash A.N.* et al. Dust Analyzer developing for Russian Lunar lander Mission // The Program and Abstr. Book 7th Moscow Solar System Symposium (7M-S3). Moscow, IKI RAN, 10–14 Oct. 2016. 7MS3-FM-09. P. 155–156.

185. *Арумов Г.П., Бухарин А.В.* Использование ненормализованных моментов для определения эквивалентного сечения частиц по их изображениям // Тез. докл. 14-й Всероссийской открытой ежегодной конференции «Дистанционное зондирование Земли из космоса. Москва, ИКИ РАН, 14–18 нояб. 2016. С. 160.

186. *Ермаков Д.М.* Спутниковое радиотепловидение системы океан-атмосфера Земли: задачи, подходы, технологии // Тез. докл. 14-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы

дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 14–18 нояб. 2016. С. 459.

187. *Ермаков Д.М., Чернушич А.П.* Геопортал спутникового радиотепловидения: итоги первого года работы // Тез. докл. 14-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 14–18 нояб. 2016. С. 27.

188. *Ермаков Д.М., Шарков Е.А., Чернушич А.П.* Исследование особенностей многолетнего меридионального переноса скрытого тепла над Атлантикой с помощью спутникового радиотепловидения // Тез. докл. 14-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 14–18 нояб. 2016. С. 180.

189. *Костяной А.Г., Булычева Е.В., Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Бочарова Т.Ю., Соловьев Д.М., Сирота А.М.* Беспрецедентный случай нефтяного загрязнения в Юго-Восточной Балтике 23 июля 2016 г. // Тез. докл. 14-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 14–18 нояб. 2016. С. 273.

190. *Краюшкин Е.В., Назирова К.Р., Лаврова О.Ю.* Результаты подспутниковых океанографических экспериментов в юго-восточной части Балтийского моря в период 2014–2016 гг. // Тез. докл. 14-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 14–18 нояб. 2016. С. 274.

191. *Кузнецов И.А., Захаров А.В., Дольников Г.Г., Афонин В.В., Ляш А.Н., Лисин Е.А.* Марсианские кольца: предложение по дистанционному и in situ наблюдению пылевых скоплений в системе Марса // Сб. тез. 13-й Конференции молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования». Москва, ИКИ РАН, 13–15 апр. 2016. С. 52.

192. *Лаврова О.Ю.* Влияние метеорологических и гидродинамических факторов на распространение речных плюмов // Мат. 7-й международной Школы-семинара «Спутниковые методы и системы исследования Земли». Таруса, 24–29 февр. 2016. URL: http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2016.html.

193. *Лаврова О.Ю.* Опыт оперативного комплексного мониторинга нефтяных загрязнений морской поверхности // Мат. Международного экономического форума «Каспийский диалог» 2016. Москва, 14 апр. 2016. URL: http://www.caspiansovet.ru/kd.

194. *Лаврова О.Ю., Митягина М.И.* Определение зон интенсивного цветения фитопланктона на основе комплексного использования спутниковых данных // Тез. докл. 14-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 14–18 нояб. 2016. С. 279.

195. *Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г.* Зоны экологического риска в Черном, Балтийском и Каспийском морях: спутниковые наблюдения и натурные измерения // Тез. докл. 14-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 14–18 нояб. 2016. С. 280.

196. *Лебедев С.А.* Курс лекций по основам дистанционного зондирования из космоса // Международная школа молодых учёных «Современные проблемы геофизики и геоэкологии: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды». Майкоп, 25–30 апр. 2016. URL: http://www.mkgtu.ru/menu/shool_molodih_ych.

197. *Лебедев С.А.* Особенности обработки данных спутниковой альтиметрии на акватории Белого, Баренцева и Карского морей // Тез. докл. 14-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 14–18 нояб. 2016. С. 282.

198. *Лебедев С.А.* Спутниковая альтиметрия Белого и Баренцева морей: лекция // Мат. 7-й международной Школы-семинара «Спутниковые методы и системы исследования Земли». Таруса, 24–29 февр. 2016. URL: http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2016.html.

199. *Лебедев С.А.* Спутниковая альтиметрия в науках о Земле (лекция) // Мат. 7-й международной Школы-семинара «Спутниковые методы и системы исследования Земли». Таруса, 24–29 февр. 2016. URL: http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2016.html.

200. *Митягина М.И.* Механизмы отображения процессов и явлений в океане и приводном слое атмосферы на радиолокационных изображениях морской поверхности: лекция // Мат. 7-й международной Школы-семинара «Спутниковые методы и системы исследования Земли». Таруса, 24–29 февр. 2016. URL: http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2016.html.

201. *Назирова К.Р., Краюшкин Е.В., Лаврова О.Ю.* Исследование влияния субмезомасштабной динамики вод на распространение загрязнений в северо-восточной части Чёрного моря на основе данных подспутниковых измерений в 2014–2016 гг. // Тез. докл. 14-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 14–18 нояб. 2016. С. 292.

202. *Нижниковская О.Ю., Лебедев С.А.* Верификация данных спутниковой альтиметрии на акватории Балтийского моря // Тез. докл. 14-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 14–18 нояб. 2016. С. 294.

203. *Саворский В.П., Ермаков Д.М., Смирнов М.Т., Чернушич А.П., Аквилонова А.Б., Кибардина И.Н., Маклаков С.М., Петрова М.В.* Методы и программные средства моделирования условий исследования малоразмерных аномалий нижней тропосферы спутниковыми СВЧ радиометрическими комплексами // Тез. докл. 14-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного

зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 14–18 нояб. 2016. С. 53.

204. Свидетельство № 2016617278. Интерфейс программирования приложений (API) для ведения и доступа к базе знаний о процессах и явлениях, наблюдаемых в Мировом океане: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / *Лупян Е.А., Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Уваров И.А.*; заявитель и правообладатель Федеральное гос. бюджетное учреждение науки Институт космических исследований РАН; зарегистр. 29.06.2016.

205. *Серебряный А.Н.* Мониторинг процессов на шельфе с помощью ADCP // Мат. 7-й международной Школы-семинара «Спутниковые методы и системы исследования Земли». Таруса, 24–29 февр. 2016. URL: http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2016.html.

206. *Серебряный А.Н., Кенигсбергер Г.В., Елистратов В.П., Попов О.Е., Поддубняк В.Я., Химченко Е.Е., Чекайда В.Н.* Об исследовании гидрофизической изменчивости на абхазском шельфе Черного моря осенью 2016 г. // Тез. докл. 14-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 14–18 нояб. 2016. С. 307.

207. *Тихонов В.В., Боярский Д.А., Полякова О.Н.* Исследование оптических постоянных рудных минералов в микроволновом диапазоне методом Крамерса-Кронига // Тез. докл. 14-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 14–18 нояб. 2016. С. 341. (РИНЦ)

208. *Сячинов В.И.* О возможности измерения оптической толщины атмосферы Земли с ИСЗ // Четырнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Сборник тезисов конференции, 2016. С. 217. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5598

209. *Втюрин С.А., Князев Н.А., Бойко В.А., Палатов Ю.А.* Методы и алгоритмы автоматического распознавания безоблачных участков на борту космического аппарата // IV Всероссийская научная конференция «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды», г. Санкт-Петербург, 20- 21 апреля 2016 г. Материалы IV Всероссийской научной конференции «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды» / под общ. ред. Ю.В. Кулешова. – СПб.: ВКА имени А.Ф.Можайского, 2016. С. 760-764. http://www.academy-mozhayskogo.ru/docs/pr_knf_10_2016.pdf

210. *Втюрин С.А., Князев Н.А., Бойко В.А., Палатов Ю.А.* Оперативное планирование высокодетальной съёмки Земли с распознаванием безоблачных участков на борту космического аппарата // Четвертая международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли», г. Москва, 19 мая 2016 г. Тезисы докладов Четвертой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». – М. : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2016. С. 169-171. http://www.vniiem.ru/ru/uploads/files/conferences/160519/sbornik_tezisov_2016.pdf

211. *Князев Н.А., Палатов Ю.А.* Вопросы гидрометеорологического обеспечения прогнозно-ситуационного моделирования переноса примесей в атмосфере // II-й Международный военно-технический форуме «Армия-2016». Круглый стол «Современные и перспективные технологии гидрометеорологического обеспечения в интересах войск (сил)». КВЦ «Патриот», г. Кубинка, Московская область, 8 сентября 2016 г. 1 с. http://mil.ru/files/morf/Programma_day-8_september.pdf

212. *Втюрин С.А., Князев Н.А., Бойко В.А., Палатов Ю.А.* Повышение эффективности высокодетального наблюдения Земли со спутников в условиях частичной облачности // Четырнадцатая Всероссийская открытая

конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Сборник тезисов конференции, 2016. С. 141. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5655

213. *Городецкий А.К.* Угловое распределение спектральной яркости в инфракрасном диапазоне спектра в области горизонта // Четырнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Сборник тезисов конференции, 2016.

214. *Ерохин Н.С., Михайловская Л.А., Зольникова Н.Н., Артеха С.Н., Лазарев А.А.* Расчеты на основе малопараметрической модели динамики крупномасштабного циклогенеза при быстрых вариациях фоновой обстановки // Четырнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", Москва. ИКИ РАН, 14-18 ноября 2016. Сборник тезисов конференции, 2016.

215. *Левина Г.В.* Спиральный тропический циклогенез: возможность управлять формированием ураганов // Четырнадцатая Всероссийская Открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН. 14-18 ноября 2016 г. Сборник тезисов конференции, 2016. С. 460. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5727

216. *Левина Г.В., Зольникова Н.Н., Михайловская Л.А.* Численное исследование процесса генерации спиральности в тропической атмосфере Земли // Четырнадцатая Всероссийская Открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН. 14-18 ноября 2016 г. Сборник тезисов конференции, 2016. С. 188. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5577

217. *Суслов А.И., Ерохин Н.С., Михайловская Л.А., Артеха С.Н. , Гусев А.А.* Моделирование прохождения крупномасштабных ВГВ из тропосферы в ионосферу // Четырнадцатая Всероссийская Открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН. 14-18 ноября 2016 г. Сборник тезисов конференции, 2016.

218. *Арумов Г. П., Бухарин А. В.* Использование ненормализованных моментов для определения эквивалентного сечения частиц по их изображениям // Тезисы четырнадцатой Всероссийской открытой ежегодной конференции «Дистанционное зондирование Земли из космоса» (Дистанционные методы исследования атмосферных и климатических процессов). ИКИ РАН. 14-18 ноября 2016. Москва.

219. *Е.Б. Кудашев* Турбулентные спектры и шумы обтекания в турбулентном пограничном слое // Акустика океана. Доклады XV Школы-семинара им. акад. Л.М. Бреховских совмест. с XXIX Сессией Российского Акустического Общества. С. 329-324. М.: Институт Океанологии РАН, 2016.

220. *Levina G.V.* Helical tropical cyclogenesis: a modern look based on cloud-resolving numerical analysis of self-organization of moist convective atmospheric turbulence. NCAR-UCAR, National Center for Atmospheric Research, Mesoscale & Microscale Meteorology Seminar Series, Boulder, Colorado, USA, 20 October 2016; https://www2.ucar.edu/for-staff/daily/calendar-event/mmm-seminar-helical-tropical-cyclogenesis-modern-look-based-on-cloud

221. *Levina G.V.* Helical Tropical Cyclogenesis: Whether We Might Attempt to Control the Formation of Hurricanes. University of Colorado, ATOC (Atmospheric and Oceanic Sciences) Forum Fall 2016, Boulder, Colorado, USA, 21 October 2016; https://docs.google.com/spreadsheets/d/1MHZMhAdsIj1-ETrQTwcr4DXja0ZaI0sJeNA1gSnq6_8/edit#gid=0

222. *Ижовкина Н.И., Артеха С.Н., Ерохин Н.С., Михайловская Л. А.* Формирование вихревых структур в атмосфере в присутствии аэрозольной плазмы // Четырнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", 14 - 18 ноября 2016 г., г. Москва, ИКИ РАН.

223. *Ерохин Н.С., Михайловская Л.А., Зольникова Н.Н., Артеха С.Н.* Модель структурных функций электрической турбулентности атмосферы с учетом когерентных структур и перемежаемости // Четырнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", 14 - 18 ноября 2016 г., г. Москва, ИКИ РАН.

224. *Зубарев Ю.Б., Золотарёв В.В., Овечкин Г.В., Овечкин П.В.* Оптимизационная теория кодирования: итоги 25 лет развития // Доклады 18-й Международной конференции "Цифровая обработка сигналов и ее применение". М., 2016. С. 6–12.

225. *Золотарёв В.В., Овечкин Г.В.* О сопоставлении новых методов помехоустойчивого кодирования // Доклады 18-й Международной конференции "Цифровая обработка сигналов и ее применение". М., 2016. С. 59–64.

226. *Zolotarev V., Ovechkin G., Ovechkin P., Satybaldina D., Tashatov N., Sankibayev D.* High Throughput Software Multithreshold Decoder on GPU // 3rd int.conf. on mathematics and computers in sciences and industry - MCSI 2016. Chania, Crete Island, Greece, August 27-29, 2016.(**Scopus**).

227. *Zolotarev V., Ovechkin G., Issainova A., Satybaldina D., Tashatov N.* Effective Multithreshold Decoding Algorithms for Wireless Communication Channels // 2016 IEEE 10th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT) – 12-14 Oct 2016, Baku, Azerbaijan. P.539–543(**Scopus)**.

228. *Г.А. Аванесов, Р.В. Бессонов, А.А. Форш, М.И. Куделин*. Результаты летных испытаний приборов БОКЗ // Пятая Всероссийская научно–

техническая конференция «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов». Таруса, 5-8 сентября 2016. Программа и тезисы. ИКИ РАН, 2016. Стр. 6-7.

229. *Г.А. Аванесов, Р.В. Бессонов, А.Н. Куркина, П. Сметанин, М. Беличенко, В. Дементьев, Н. Строилов, Н. Брысин, В. Шевелев, А. Квашнин, Д.С. Завгородний.* Исследование погрешностей определения параметров ориентации прибора высокой точности БОКЗ-ВТ. // Пятая Всероссийская научно–техническая конференция «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов». Таруса, 5-8 сентября 2016. Программа и тезисы. ИКИ РАН, 2016. Стр. 14.

230. *Г.А. Аванесов, Р.В. Бессонов, А.С. Квашнин, В.Е. Шевелев*. Вопросы конструирования оптической головки ОГ-ВТ и исследования термоупругих деформаций // Пятая Всероссийская научно–техническая конференция «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов». Таруса, 5-8 сентября 2016. Программа и тезисы. ИКИ РАН, 2016. Стр. 17.

231. *Г.А. Аванесов, Б.С. Жуков, И.В. Полянский, Э.А. Рожавский.* Комплекс оперативного мониторинга земной поверхности «Горизонт-МП» для перспективных гидрометеорологических КА // Пятая Всероссийская научно–техническая конференция «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов». Таруса, 5-8 сентября 2016. Программа и тезисы. ИКИ РАН, 2016. Стр. 30.

232. *Р. В. Бессонов, А.Н. Куркина, М.Л. Беличенко, Д.С. Завгородний*. Исследование калибровки внутренней системы координат приборов звездной ориентации по модели оптической системы // Пятая Всероссийская научно–техническая конференция «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов». Таруса, 5-8 сентября 2016. Программа и тезисы. ИКИ РАН, 2016. Стр. 18.

233. *Т.В. Кондратьева, Б.С. Жуков, Л.И. Пермитина, И.В. Полянский.* Радиометрическая кросс-калибровка КМСС-М КА «Метеор-М» №2 и

MODIS КА «Terra». // Пятая Всероссийская научно–техническая конференция «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов». Таруса, 5-8 сентября 2016. Программа и тезисы. ИКИ РАН, 2016. Стр. 31.

234. *П.С. Сметанин, А.Н. Куркина, Г.А. Аванесов, Р.В. Бессонов*. Исследование калибровки внутренней системы координат прибора звездной ориентации по звездному небу // Пятая Всероссийская научно–техническая конференция «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов». Таруса, 5-8 сентября 2016. Программа и тезисы. ИКИ РАН, 2016. Стр. 19.

235. *Т.В. Кондратьева, Б.С. Жуков, Л.И. Пермитина, И.В. Полянский.* Радиометрическая кросс-калибровка КМСС-М КА «Метеор-М» №2 и MODIS КА «Terra». // Пятая Всероссийская научно–техническая конференция «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов». Таруса, 5-8 сентября 2016. Программа и тезисы. ИКИ РАН, 2016. Стр. 31.

236. *Гирина О.А., Сорокин А.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Крашенинникова Ю.С.* Ресуспендированный пепел вулкана Шивелуч // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 5. С. 315-319. DOI: DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-5-315-319. (Импакт фактор 0,982, Scopus)

237. *Гордеев Е.И., Гирина О.А., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Романова И.М., Крамарева Л.С., Ефремов В.Ю., Кобец Д.А., Кашницкий А.В., Верхотуров А.Л., Бурцев М.А.* ИС «VolSatView»: комплексный анализ данных об эксплозивных извержениях вулканов Камчатки // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2016. № 5.

Патенты

238. Золотарев В.В., Овечкин Г.В. Способ работы символьного порогового элемента в символьном мажоритарном декодере // Патент на изобретение РФ №2573741, приоритет от 22.12.2015 г.

239. Золотарев В.В., Овечкин Г.В., Сатыбалдина Д.Ж., Ташатов Н.Н., Адамова А.Д. Способ мягкого многопорогового декодирования помехоустойчивого кода. Патент на изобретение №31246 (Республика Казахстан). Приоритет от 15.10.2014 г.

240. Свидетельство № 2016617278. Интерфейс программирования приложений (API) для ведения и доступа к базе знаний о процессах и явлениях, наблюдаемых в Мировом океане: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / *Лупян Е.А., Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Уваров И.А.*; заявитель и правообладатель Федеральное гос. бюджетное учреждение науки Институт космических исследований РАН; зарегистр. 29.06.2016.

241. Свидетельство № 2016662310 FieldsSMIS_agro / Лупян Е.А., Толпин В.А., Балашов И.В.; заявитель и правообладатель Федеральное гос. бюджетное учреждение науки Институт космических исследований РАН; зарегистр. 07.11.2016.