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
Член-корреспондент РАН

_____ А.А.Петрукович
«___» _____ 2018 г.
М.П.

отчет о НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
Разработка методов и технологий спутникового мониторинга для научных исследований глобальных изменений и обеспечения безопасности.

Тема МОНИТОРИНГ

0028-2014-0006

Научный руководитель

д.т.н._____Е.А. Лупян
«___»_____2018 г.

Москва

2018

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.
главный научный сотрудник, д.т.н. , профессор	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.
ведущий научный сотрудник, к.ф.-м.н.	Лаврова О.Ю.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ отдел 56

Должность, ученая степень, ученое звание	Подпись	ФИО	Номера разделов отчета в работе по которым принимал участие исполнитель
инженер		Андреев М.В.	1
ведущий инженер		Артамонова Ю.В.	1
старший научный сотрудник, к.т.н.		Балашов И.В.	1,3
главный научный сотрудник, д.т.н. профессор		Барталев С.А.	Руководство направлением "Мониторинг-биосфера" 2,7
главный специалист, к.т.н.		Барталев С.С.	2
ведущий конструктор, к.х.н.		Белоконь З.С.	1
инженер		Бриль А.А.	1,7
старший научный сотрудник, к.т.н.		Бурцев М.А.	1,3,7
ведущий электроник		Васильева А.И.	1
главный специалист, д.т.н.		Ведешин Л.А.	1,7
главный специалист		Дегай А.Ю.	1
старший научный сотрудник, к.т.н.		Егоров В.А.	2
инженер		Елкина Е.С.	2,7
ведущий конструктор		Ершов Д.В.	2
инженер		Ефремов В.Ю.	1,3
научный сотрудник, к.ф.-м.н.		Жарко В.О.	2,7
научный сотрудник, к.т.н.		Златопольский А.А.	1
инженер		Иванова А.А.	2
научный сотрудник, к.т.н.		Кашницкий А.В.	1,3,7

младший научный сотрудник, к.т.н.		Кобец Д.А.	1,7
главный специалист, к.ф.-м.н.		Козочкина А.А.	1,7
младший научный сотрудник		Колбудаев П.А.	2
инженер		Константинова А.М.	1,3,7
старший научный сотрудник, к.ф.-м.н.		Крашенинникова Ю.С.	1,7
Ведущий конструктор, к.г.н.		Ладонина Н.Н.	2,7
заведующий отделом, д.т.н.		Лупян Е.А.	Общее руководство темой Руководство направлением "Мониторинг-Технологии" 1,2,3,7
ведущий научный сотрудник, к.ф.-м.н.		Мазуров А.А.	1
ведущий конструктор.		Марченков В.В.	1
младший научный сотрудник		Матвеев А.М.	1
инженер		Миклашевич Т.С.	2
ведущий инженер		Нестеренко А.А.	1
ведущий конструктор		Панова О.Ю.	1,2
старший научный сотрудник, к.ф.-м.н.		Плотников Д.Е.	2
старший научный сотрудник, к.т.н.		Прошин А.А.	1,3
техник		Пчеловодов Д.Л.	1
заведующий лабораторией, к.ф.-м.н.		Пырков В.Н.	1
ведущий инженер		Радченко М.В.	1
главный специалист		Романов А.А.	1
ведущий инженер		Романова Л.В.	1
старший научный сотрудник, д.т.н.		Руткевич П.Б.	1,5

главный специалист		Саворский В.П.	1
ведущий специалист		Самиуллина Г.С.	1,7
инженер		Самофал Е.В.	2
инженер		Сенько К.С.	1
главный конструктор проекта		Скачков В.А.	1
главный специалист		Смирнов Н.К.	1
инженер		Солодилов А.В.	1
научный сотрудник, к.н.		Стыценко Ф.В.	2
инженер		Сычугов И.Г.	1
старший научный сотрудник, к.т.н.		Толпин В.А.	1
старший научный сотрудник, к.т.н.		Уваров И.А.	1,3
научный сотрудник, к.н.		Хвостиков С.А.	2
младший научный сотрудник		Ховратович Т.С.	2
инженер		Черных В.Н.	1
старший научный сотрудник, к.г.н.		Шабанов Н.В.	2
Старший лаборант		Юдин Д.А.	1,7

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ отдел 55

Должность, ученая степень, ученое звание	Подпись	ФИО	Номера разделов отчета в работе по которым принимал участие исполнитель
электроник		Антонов В.С.	4
ведущий научный сотрудник, к.н.		Арумов Г.П.	5
ведущий электроник		Беляков Г.И.	4
научный сотрудник		Бочарова Т.Ю.	4 , 7
старший научный сотрудник, к.н.		Боярский Д.А.	3
старший научный сотрудник, к.н.		Бухарин А.В.	5
старший научный сотрудник, к.н.		Ванина-Дарт Л.Б.	5
ведущий программист		Втюрин С.А.	5
главный специалист		Городецкий А.К.	5
ведущий инженер		Горшков А.А.	4
ведущий инженер		Зверева О.О.	3
ведущий электроник		Игнатов В.А.	4
инженер		Калашникова Н.А.	4
научный сотрудник, к.н.		Князев Н.А.	5
главный специалист		Комарова Н.Ю.	3 , 7
ведущий инженер		Кондакова И.С.	4 , 7
младший научный сотрудник		Краюшкин Е.В.	4
ведущий инженер		Кузнецова М.А.	5
ведущий научный сотрудник, к.н.		Кузьмин А.В.	4
ведущий научный сотрудник, к.н.		Лаврова О.Ю.	4 , 7

ведущий инженер		Ликучева Т.В.	4
научный сотрудник		Ляш А.Н.	5
старший научный сотрудник, к.н.		Митягина М.И.	4
младший научный сотрудник		Пашинов Е.В.	4
главный специалист		Покровская И.В.	3
старший научный сотрудник, к.н.		Поспелов М.Н.	4
ведущий научный сотрудник, к.н.		Раев М.Д.	4
главный специалист		Русаков М.Ю.	4
старший научный сотрудник, к.н.		Садовский И.Н.	4
младший научный сотрудник		Сазонов Д.С.	4
ведущий математик		Селунский А.Б.	4
научный сотрудник, к.н.		Скворцов Е.И.	4
старший научный сотрудник		Стерлядкин В.В.	4
научный сотрудник, к.н.		Строчков А.Я.	4,7
ведущий инженер		Сячинов В.И.	5
старший научный сотрудник, к.н.		Тихонов В.В.	3
ведущий математик		Тюрин А.В.	5
главный конструктор проекта		Хапин Ю.Б.	4
зав отдела, д.н.		Шарков Е.А.	3,4

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ отдел 51

Должность, ученая степень, ученое звание	Подпись	ФИО	Номера разделов отчета в работе по которым принимал участие исполнитель
зав лабораторией, к.н.		Артеха С.Н.	5.2.2, 5.2.3
ведущий научный сотрудник, д.н.		Астафьева Н.М.	5.2.3
ведущий инженер		Белян А.В.	5.2.2
старший научный сотрудник, к.н.		Гусев А.А.	5.6
ведущий инженер		Давиденко Д.В.	5.1.1
зав отдела, д.н.		Ерохин Н.С.	5.2.2, 5.2.3
главный научный сотрудник дн		Захаров В.Е.	5.2.2
научный сотрудник, к.н.		Зольникова Н.Н.	5.2.3, 5.3.1
главный специалист		Каленова Н.И.	5.2.1
ведущий научный сотрудник, д.н.		Кудашев Е.Б.	5.2.1
старший научный сотрудник, к.н.		Левина Г.В.	5.2.4
младший научный сотрудник, к.н.		Михайловская Л.А.	5.2.2, 5.3.1
ведущий научный сотрудник, д.н.		Онищенко О.Г.	5.2.3
главный научный сотрудник, д.н.		Пулинец С.А.	5.1.1
ведущий научный сотрудник		Чхетиани О.Г.	5.2.3
старший научный сотрудник		Шалимов С.Л.	5.1.1

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ отдел 57

Должность, ученая степень, ученое звание	Подпись	ФИО	Номера разделов отчета в работе, по которым принимал участие исполнитель
инженер		Абрамов Н. Ф.	.6.1
главный научный сотрудник, д.н.		Аванесов Г. А.	.6.2.3
младший научный сотрудник		Белинская Е. В.	.6.2.3
инженер		Беличенко М. Л.	.6.2.3
ведущий конструктор		Белов В. Ю.	.6.2.1
зав. отдела, к.н.		Бессонов Р.В.	.6.2.3
научный сотрудник, к.н.		Брысин Н. Н.	.6.2.2
программист		Ваваев М. В.	.6.2.1
старший научный сотрудник, к.н.		Воронков С. В.	.6.2.3
ведущий конструктор		Дроздов А. А.	.6.1
инженер		Дятлов С. А.	.6.1
старший научный сотрудник, к.н.		Жуков Б. С.	6.2.2
инженер (0,5 ст.)		Караваева Е. С.	.6.2.2
программист		Клименко О.Я.	.6.2.1
инженер		Кобелева А. А.	.6.2.3
ведущий инженер		Коломеец Е.В.	.6.1
старший научный сотрудник, к.н.		Кондратьева Т. В.	.6.2.1
инженер		Корольков С. А.	.6.1
ведущий инженер		Краснопевцева Е. Б.	.6.2.1
главный специалист		Крупин А. А.	.6.1

главный конструктор проекта		Куделин М. И.	.6.2.3
научный сотрудник		Куркина А. Н.	.6.2.3
конструктор		Курячая А. А.	.6.1
программист		Лискив А. С.	.6.2.1
ведущий конструктор		Лукин А. Н.	.6.1
главный конструктор проекта		Муравьев В. М.	.6.1
старший научный сотрудник, к.н.		Никитин А. В.	.6.2.2
станочник широкого профиля		Панферов В. И.	.6.1
главный конструктор проекта		Полянский И. В.	.6.1
младший научный сотрудник		Прохорова С. А.	6.2.2
младший научный сотрудник (0,5 ст.)		Сметанин П. С.	.6.2.2
ведущий конструктор		Соловьева Е. А.	6.2.3
младший научный сотрудник		Строилов Н. А.	.6.1
конструктор		Суворова Л. М.	.6.2.1
инженер		Суворова Т. А.	.6.2.1
ведущий конструктор		Суханова Э. А.	.6.2.1
инженер		Теремок Ю. П.	.6.2.3
конструктор		Устинов В. Д.	.6.2.3
ведущий научный сотрудник, к.н.		Форш А. А.	.6.1
программист		Хорохорин Д. И.	.6.2.2
ведущий программист		Шамис В. А.	.6.1
конструктор		Ширшова Н. Г.	.6.2.2
младший научный сотрудник		Эльяшев Я.Д.	.6.1

конструктор		Ядвичук Е. В.	.6.2.3

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ отдел 71

Должность, ученая степень, ученое звание	Подпись	ФИО	Номера разделов отчета в работе, по которым принимал участие исполнитель
ведущий научный сотрудник, д.н.		Золотарев В.В.	6.1

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ отдел Ц90

Должность, ученая степень, ученое звание	Подпись	ФИО	Номера разделов отчета в работе по которым принимал участие исполнитель
старший лаборант	7	Валиева К.Р.	
старший лаборант	7	Николаева С.М.	
Заведующий НОЦ, к.н.	7	Садовский А.М.	
зав аспирантурой	7	Щукина А.В.	

РЕФЕРАТ

Отчет 173 стр., 79 рис., 232 источника.

НАСТОЯЩИЙ ОТЧЕТ ПОСВЯЩЕН ОПИСАНИЮ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТ, ПОЛУЧЕННЫХ В 2018 ГОДУ В РАМКАХ ТЕМЫ "МОНИТОРИНГ" (№ 0028-2014-006), ВЫПОЛНЯЮЩЕЙСЯ В РАМКАХ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАДАНИЯ ИНСТИТУТОМ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. В ОТЧЕТЕ ПРИВОДЯТСЯ ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ, ЗАПЛАНИРОВАННЫХ НА 2018 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....13
СОДЕРЖАНИЕ....14
ВВЕДЕНИЕ....20
РАЗДЕЛ 1 МОНИТОРИНГ-ТЕХНОЛОГИИ....22
Введение....22
1.1. Разработка методов и технологий автоматизированной обработки спутниковых данных для решения задач контроля состояния и исследования окружающей среды для действующих и перспективных спутниковых систем ДЗЗ. (пункт 4.1.1 плана работ на 2018г.)....23
1.1.1 Разработка технологии совместного использования данных MODIS и VIIRS для оценки площадей пройденных лесными пожарами....23
1.1.2 Разработка методов и инструментов выявления задержек в процессе автоматизированной потоковой обработки спутниковых данных....24
1.1.3 Разработка методов обработки данных для анализа изменений среднемноголетней временной динамики вегетационных индексов различных сельскохозяйственных культур....27
1.1.4 Кросс-калибровка данных российских спутников методом гистограммного анализа....29
1.2 Развитие методов и технологий автоматизированного ведения сверхбольших распределенных архивов спутниковых данных для обеспечения мониторинга и анализа состояния окружающей среды, природных и антропогенных объектов (пункт 4.1.2 плана работ на 2018 г.)....30
1.2.1 Направления развития подходов ведения сверхбольших распределенных архивов спутниковых данных для обеспечения создания и поддержки современных информационных систем дистанционного мониторинга (концепция создания специализированных информационных сред комплексного решения задач развития и поддержки современных информационных систем дистанционного мониторинга)..30
1.2.2 Поддержка функционирования сверхбольших файловых хранилищ и автоматизация процедуры распределения новых данных по серверам хранения.....33
1.2.3. Развитие системы контроля и управления распределенными архивами спутниковых данных (Расширенная статистика о наличии данных в архивах и о поступлении в систему новых спутниковых данных из различных источников).....34
1.3 Разработка новых методов и технологий, обеспечивающих эффективную работу с распределенными сверхбольшими архивами спутниковых данных и результатов их обработки. В том числе создание инструментов для анализа и обработки спутниковых данных с использованием распределенных вычислительных ресурсов. (пункт 4.1.3 плана работ на 2018 г.)....37
1.3.1 Интеграция сервиса доступа к спутниковым данным в облачную платформу С2....37
1.3.2. Инструмент анализа линеаментов в информационных системах семейства "Созвездие-Вега"....39
1.3.3 Разработка инструментов анализа спутниковых данных для изучения быстроразвивающихся процессов....41
1.4 Поддержка и развитие специализированных спутниковых сервисов, ориентированных на решение различных научных задач. (пункт 4.1.4 плана работ на 2018 г.)....42
1.4.1 Развитие элементов технологий интеграции данных эксперимента "Ураган", выполняемого на МКС, в системы семейства «Вега-Созвездие»....42
1.4.2 Развитие информационной системы «Вега-Агрометеоролог»....44
1.4.3 Развитие информационной системы «Аврора-Арктика»....45

1.4.4 Разработка информационных инструментов для эффективного дистанционного мониторинга результатов антропогенного воздействия на ареалы растений 46
1.4.5 Развитие методов снижения фальсификации отчетности промысловых судов с использованием современных средств дистанционного мониторинга 47
1.5 Обеспечение постоянной работы и развитие Центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа данных спутниковых наблюдений Института космических исследований Российской академии наук для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») (пункт 4.1.5 плана работ на 2018 г.) 48
1.5.1 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. 48
1.5.2. Поддержа и развитие информационной системы распределенной работы с данными дистанционного мониторинга Вега-Science 53
1.5.3 Поддержка и развитие специализированных спутниковых сервисов, ориентированных на решение различных научных задач 54
Заключение 56
РАЗДЕЛ 2 МОНИТОРИНГ-БИОСФЕРА 57
Введение 57
2.1 Развитие методов формирования долговременных рядов спутниковых наблюдений земного покрова на основе мултьтисенсорных данных дистанционного зондирования для решения задач долгосрочного мониторинга биосферы (пункт 4.2.1 плана работ на 2018 г.) 57
2.1.1 Метод обработки данных Sentinel 1A 58
2.1.2 Развитие метода обработки данных Terra-MODIS 59
2.2 Развитие методов локально-адаптивной классификации типов и оценивания количественных характеристик земного покрова для решения задач динамического картографирования биосферы на основе временных рядов данных дистанционного зондирования (пункт 4.2.2 плана работ на 2018 г.) 60
2.3 Развитие методов оценки биофизических характеристик растительного покрова на основе данных дистанционного зондирования и моделей переноса излучения в оптическом диапазоне (пункт 4.2.3 плана работ на 2017 г.) 63
2.4 Развитие методов прогноза и мониторинга последствий воздействия природных пожаров на трансформацию растительного покрова на основе многолетних временных рядов данных дистанционного зондирования (пункт 4.2.4 плана работ на 2018 г.) 67
2.5 Создание методов прогнозирования динамики наземных экосистем в условиях климатических изменений на основе ассимиляции в модели результатов обработки данных дистанционного зондирования (пункт 4.2.5 плана работ на 2018 г.) 70
2.6 Формирование многолетних рядов характеристик состояния наземных экосистем на основе данных спутниковых наблюдений для оценки и мониторинга их ресурсно-экологического потенциала (пункт 4.2.6 плана работ на 2018 г.) 72
Заключение 77
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 2018 г.) 79
3.1.1 Развитие методов изучения проявления климатических тенденций в системе океан-атмосфера и в структуре радиотеплового поля Земли с использованием данных микроволнового спутникового мониторинга – радиотепловидения. (пункт 4.3.1.1 плана работ на 2018 г.) 79

3.1.2 Проведение количественных исследований процессов переноса скрытого тепла в общей системе глобальной циркуляции атмосферы Земли на синоптических и климатически значимых масштабах, в частности, переноса скрытого тепла из Атлантики в Арктику в контексте проблемы изучения климатических и погодных изменений арктической зоны. (пункт 4.3.1.2 плана работ на 2018 г.) 80
3.1.3 Применение электродинамической модели радиоизлучения природных слоистых сред для анализа пространственно-временных характеристик морского льда Арктики и ледяного покрова крупных пресноводных озер по данным многочастотной микроволновой спутниковой радиометрии для решения задач изучения изменчивости климатических параметров планеты. (пункт 4.3.1.3 плана работ на 2018 г.) 81
3.1.4 Проведение анализа изменения морского ледяного покрова Арктики за период 1987-2020 гг., восстановленного на основе данных SSM/I и SSMIS на основе нового VASIA2 с привлечением многолетнего массива наблюдений за морским льдом. В том числе, проведение анализа ежегодной эволюции площади ледопокрытия и снежниц на арктическом морском льду за период 1987-2020 гг. (пункт 4.3.1.4 плана работ на 2018 г.) 82
3.1.5 Исследование фенологии ледяного покрова крупных пресноводных озер (Байкал, Ладожское, Онежское, Великие Американские, Канадские и т.д.) по данным радиометра MIRAS (1.4 ГГц) спутника SMOS и радиометра AMSR-2 (6.925, 7.3, 10.65, 18.7, 23.8, 36.5, и 89.0 ГГц) спутника GCOM-W1. В том числе, анализ изменения дат фенологических фаз пресноводного ледяного покрова на крупных пресноводных водоемах за 1987-2020 гг. в контексте региональных и глобальных климатических изменений. (пункт 4.3.1.5 плана работ на 2018 г.) 83
3.1.6 Развитие методов 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. (пункт 4.3.1.6 плана работ на 2018 г.) 84
3.1.7. Разработка дифференциальных радиотепловых методов и технологического облика космической системы для определения высотных профилей температуры и влажности атмосферы, скорости и направления приповерхностного ветра по радиотепловым измерениям. (пункт 4.3.1.7 плана работ на 2018 г.) 86
3.1.8. Исследование оптических постоянных компонентов межпланетной и межзвездной пыли, а также грунтов и аэрозолей планет, в микроволновом диапазоне (дополнительный пункт к плану работ на 2018г). 90
3.2 Разработка научных подходов к организации дистанционного мониторинга природных катастрофических явлений, риска их возникновения и их последствий (ураганов, извержения вулканов, землетрясений и др.) (пункт 4.3.2 плана работ на 2018 г.) 92
3.2.1 Создание научных баз данных глобального тропического циклогенеза за 1983 - 2020гг. и базы радиотепловых данных за 1987-2019гг. модернизированных микроволновых комплексов по программе DMSP и последующих программ. (пункт 4.3.2.1 плана работ на 2018 г.) 92
3.2.2 Разработка научных подходов и методов к организации мониторинга вулканической активности с помощью современных систем и технологий спутниковых наблюдений. В том числе разработка новых методов в оценки характеристик извержений на основе комплексного анализа результатов математического моделирования динамики распространения пепловых шлейфов и данных спутниковых наблюдений (совместно с ИВиС ДВО РАН и ВЦ ДВО РАН) (пункт 4.3.2.2 плана работ на 2018 г.) 92
Заключение 94
РАЗДЕЛ 4 МОНИТОРИНГ-ОКЕАН 95
Введение 95
4.1 Разработка и экспериментальная проверка методик радиолокационных исследований нелинейных волновых процессов в мелководных прибрежных

4.2 Разработка методик и проведение экспериментальных исследований нелинейной динамики спектральных компонент морского волнения методами пассивной и активной радиополяриметрии для решения задач экологического мониторинга (пункт 4.4.2 плана работ на 2018 г.) 96
4.3 Разработка и создание микроволнового радиометрического комплекса нового поколения для измерения параметров океана и атмосферы. (пункт 4.4.3 плана работ на 2018 г.) 97
4.4 Разработка научных основ совместного использования новейших микроволновых и оптических сенсоров космического базирования для оценки изменения экологического состояния морских акваторий, включая арктические регионы (пункт 4.4.4 плана работ на 2018 г.) 99
4.5 Совершенствование и апробация методов количественной оценки параметров гидродинамических процессов в верхнем слое океана и в приводном слое атмосферы на основе многолетних данных дистанционного зондирования из космоса. (пункт 4.4.5 плана работ на 2018 г.) 101
Заключение 106
РАЗДЕЛ 5 МОНИТОРИНГ-АТМОСФЕРА 107
Введение 107
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 2018 г.) 107
5.1.1 Исследование режимов распада метеорных следов в верхней атмосфере по данным метеорной оптической камеры и ионозонда 107
5.2 Развитие 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 конвективно неустойчивой атмосфере Земли с учетом зональных ветров, фазовых переходов влаги. (пункт 4.5.2 плана работ на 2018 г.) 108
5.2.1 Развитие моделей, анализ физических механизмов генерации турбулентных пульсаций давления для обработки натурных данных в целях мониторинга и прогноза состояний атмосферы при движении обтекаемых тел в стационарном турбулентном потоке и выявления закономерностей формирования и динамики вихревых структур, генерации шума в атмосфере Земли с учетом ветров. 108
5.2.2 Развитие моделей, анализ физических механизмов, разработка и применение алгоритмов обработки натурных данных для мониторинга и прогноза закономерностей формирования и последующей динамики мощных вихревых структур в атмосфере с учетом влияния аэрозолей и электромагнитных полей и струйных течений. 109
5.2.3 Развитие малопараметрической модели, анализ физических механизмов, разработка и применение алгоритмов обработки натурных данных для мониторинга и прогноза состояний атмосферы, включая выявление закономерностей формирования и последующей динамики мощных вихревых структур в конвективно неустойчивой атмосфере Земли с учетом зональных ветров и фазовых переходов влаги. 111
5.2.4 Адаптация ранее развитого подхода для изучения вращающейся облачной конвекции в тропиках, в целях анализа аномально-интенсивных атмосферных конвективных явлений на территории России, наблюдающихся в последние годы. 112
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 2018 г.) 113

5.4. Разработка новых методов и алгоритмов обработки данных дистанционных наблюдений в ИК и видимом диапазоне для определения характеристик облачности. (пункт 4.5.4 плана работ на 2018 г.) 114
5.5 Развитие методов лидарных наблюдений (в том числе: разработка оптических методов измерения ненормализованных моментов высших порядков для поперечных сечений частиц; разработка методов калибровки лидаров с использованием перфорированных экранов; разработка многоканальных систем, использующих режим генерации с вырожденной аппаратной функцией). (пункт 4.5.5 плана работ на 2018 г.) 114
5.5.1. Разработка методов измерения характеристик ненормализованных моментов высших порядков для поперечных сечений частиц в задаче определения микроструктуры рассеивающих частиц. 114
5.5.2. Влияние метеопараметров и условий измерений на угловую структуру излучения водной поверхности 115
5.5.3. 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. 115
5.6 Исследование вариаций рентгеновского атмосферной эмиссии по данным спутниковых экспериментов. (пункт 4.5.6 плана работ на 2018 г.) 116
5.6.2. Развитие теоретических моделей, анализ физических механизмов в целях разработки средств исследований гидросферы и атмосферы 117
5.7. Разработка методик решения обратных задач восстановления профилей влажности и температуры тропосферы по микроволновым радиометрическим измерениям из космоса с использованием нейронных сетей (пункт 4.5.7 плана работ на 2018 г.) 117
Заключение 119
РАЗДЕЛ 6 МОНИТОРИНГ-ЭФФЕКТ 120
Введение 120
6.1. Разработка методов и средств спутниковых наблюдений Земли из космоса. (пункт 4.6.1 плана работ на 2018г.) 120
6.2. Разработка методов и средств повышения качества калибровки и привязки целевой информации ДЗЗ. (пункт 4.6.2 плана работ на 2018г.) 123
6.2.1. Полетная радиометрическая калибровка КМСС-М на КА «Метеор-М» №2 . 123
6.2.2. Разработка банка контрольных точек Sentinel и его использование для автоматизации полетной геометрической калибровки КМСС-М на КА «Метеор-М» №2 124
6.2.3 Особенности формирования звездных каталогов датчиков ориентации космических аппаратов. 127
Статистический метод анализа данных и коррекции бортовых каталогов звездных датчиков ориентации 127
Метод математического проектирования бортовых каталогов звездных датчиков ориентации 131
Заключение 139
РАЗДЕЛ 7 МОНИТОРИНГ-ИНФРАСТРУКТУРА 141
Введение 141
7.1. Проведение ежегодных Всероссийских открытых конференций "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса" (пункт 4.7.1 плана работ на 2018 г.) 141
7.2. Проведение Всероссийских научных школ-конференций по фундаментальным проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса (пункт 4.7.2 плана работ на 2018 г.) 142
7.3. Проведение международных Школ-семинаров «Спутниковые методы и системы исследования Земли» (пункт 4.7.3 плана работ на 2018 г.) 142

7.4. Выпуск журнала "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса"(пункт 4.7.4 плана работ на 2018 г.) 143
7.5. Проведение работ по подготовки и повышению квалификации кадров на базе Научно-образовательного центра ИКИ РАН (2017-2019 год). (пункт 4.7.5 плана работ на 2018 г.) В том числе : 143
7.5.1 Участие в проведении дней "открытых дверей" и экскурсий в ИКИ РАН, а также научно-образовательных лекций для школьников, студентов и аспирантов в части представления возможностей направления "Дистанционного зондирования и Исследования Земли из Космоса"(пункт 4.7.5.1 плана работ на 2018 г.); 143
7.5.2 Проведение конкурса работ молодых ученых, работающих в области дистанционного мониторинга Земли, природных и антропогенных процессов(пункт 4.7.5.2 плана работ на 2018 г.); 144
7.5.3 Научно- методическое обеспечение работ базовых кафедр ИКИ РАН и образовательных курсов проводимых специалистами ИКИ РАН по направлению "Дистанционного зондирования и Исследования Земли из Космоса"(пункт 4.7.5.3 плана работ на 2018 г.). 144
Заключение 145
РАЗДЕЛ 8 Наиболее значимые результаты института, имеющие инновационный потенциал 146
8.1. Разработка технологий автоматизированной работы с данными спутниковых наблюдений для решения задач дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель и посевов на больших территориях 146
8.2. Разработка облика микроволнового сканера нового поколения для мезомасштабных задач переноса тепла и массообмена в системе океан-атмосфера, включая телекоммуникационные связи тропической зоны и полярных регионов 146
РАЗДЕЛ 8 ВАЖНЕЙШИЕ ЗАКОНЧЕННЫЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ И ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИЕ РАБОТЫ, ВЫПОЛНЕННЫЕ В 2018 г. И ГОТОВЫЕ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ 148
Методы формирования бортовых звездных каталогов датчиков ориентации КА . 148
РАЗДЕЛ 9 ГРАНТЫ ПО НАПРАВЛЕНИЮ МОНИТОРИНГ 149
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 150
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 152

ВВЕДЕНИЕ

В Институте 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.	138
2	Эволюция окружающей среды и климата под воздействием природных и антропогенных факторов, научные основы рационального природопользования и устойчивого развития; территориальная организация хозяйства и общества	137

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).

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 2018 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

Направление 1 ("Мониторинг-технологии") темы "Мониторинг" посвящено 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 по данному направлению, полученные по следующим разделам плана работ ИКИ РАН на 2018 год:

- Разработка методов и технологий автоматизированной обработки спутниковых данных для решения задач контроля состояния и исследования окружающей среды для действующих и перспективных спутниковых систем ДЗЗ. Результаты полученные по данному направлению описаны в разделе 1.1 настоящей главы.
- Развитие методов и технологий автоматизированного ведения сверхбольших распределенных архивов спутниковых данных для обеспечения мониторинга и анализа состояния окружающей среды, природных и антропогенных объектов. Результаты полученные по данному направлению описаны в разделе 1.2 настоящей главы.
- Разработка новых методов и технологий, обеспечивающих эффективную работу с распределенными сверхбольшими архивами спутниковых данных и результатов их обработки. В том числе создание инструментов для анализа и обработки спутниковых данных с использованием распределенных вычислительных ресурсов. Результаты полученные по данному направлению описаны в разделе 1.3 настоящей главы.
- Поддержка и развитие специализированных спутниковых сервисов, ориентированных на решение различных научных задач. Результаты полученные по данному направлению описаны в разделе 1.4 настоящей главы.
- Обеспечение постоянной работы и развитие Центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа данных спутниковых наблюдений Института космических исследований Российской академии наук 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 информационной системы распределенной работы с данными дистанционного мониторинга Вега-Science

  Результаты полученные по данному направлению описаны в разделе 1.1 настоящей главы.

Подробно полученные в данном направлении результаты изложены в следующих научных публикациях [3, 5,6, 7, 10, 35, 36, 38, 40, 43, 44, 46-49, 54, 55, 56-60, 63, 102-107, 116-123, 125, 127-131, 133-151, 152, 153-155, 160-162, 164, 170, 172-174, 176-178, 180-182, 185, 188, 230, 231, 235,236]

1.1. Разработка методов и технологий автоматизированной обработки спутниковых данных для решения задач контроля состояния и исследования окружающей среды для действующих и перспективных спутниковых систем ДЗЗ. (пункт 4.1.1 плана работ на 2018г.)

1.1.1 Разработка технологии совместного использования данных MODIS и VIIRS для оценки площадей пройденных лесными пожарами

Разработанная технология позволяет учитывать данные о термальных аномалиях различного разрешения, принимаемых с аппаратов Suomi NPP и NOAA-20 (JPSS1), в алгоритмах расчета контуров пожаров совместно с данными, получаемыми с приборов MODIS, установленных на аппаратах AQUA и TERRA. Технология обеспечивает унифицированную обработку, поступление, хранение и предоставление данных в блоках мониторинга пожаров существующих и перспективных информационных систем.

Для реализации технологии была модернизирована структура баз данных, доработаны и созданы новые алгоритмы и программные блоки пополнения баз, модифицированы блоки формирования и предоставления отчетных форм.

Получаемая по данным VIIRS информация позволяет детектировать пожары с меньшей площадью активного горения. Использование аппаратов NPP и NOAA-20 позволило в ходе сезона 2018 года выявить дополнительно более 150% небольших очагов горения со средней площадью 8 гектар (Рисунок 1.1.1.2). Количественный вклад таких пожаров в общую статистику невысок, однако использование VIIRS дает прирост общей лесной площади пожаров до 6%, а общей – до 10%.

Применение данных VIIRS обеспечило раннее детектирование более 30% наблюдаемых по MODIS пожаров (Рис. 1.1.1.1). По данным за 2018 год 38% пожаров из них были обнаружены ранее, чем за сутки, а 42% еще раньше - от получаса до трех часов.

Опыт совместного использования данных VIIRS и MODIS для детектирования лесных пожаров в течение сезона 2018 года показал высокую степень достовености получаемых данных: более 90% пожаров, дополнительно полученных по данным VIIRS – подтверждены наземными службами (Рисунок 1.1.1.3).

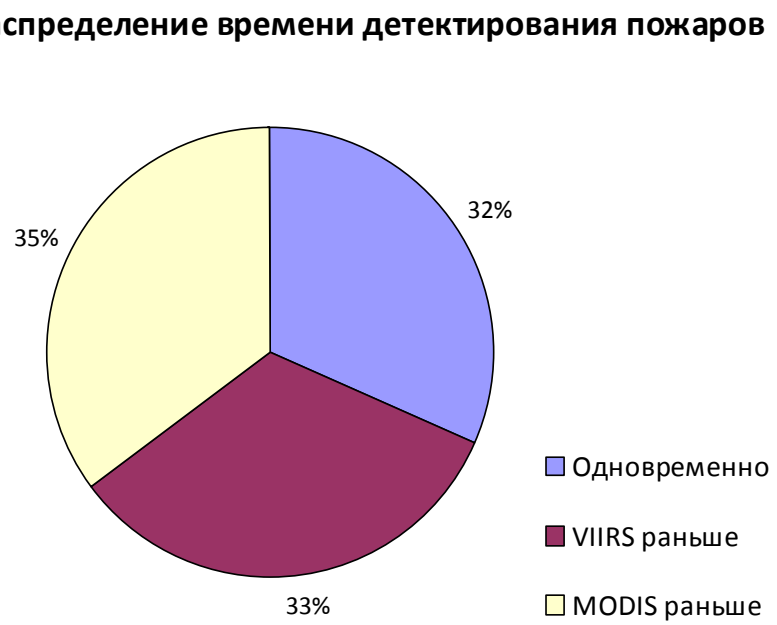


Рис. 1.1.1.1 - Распределение времени детектирования пожаров.

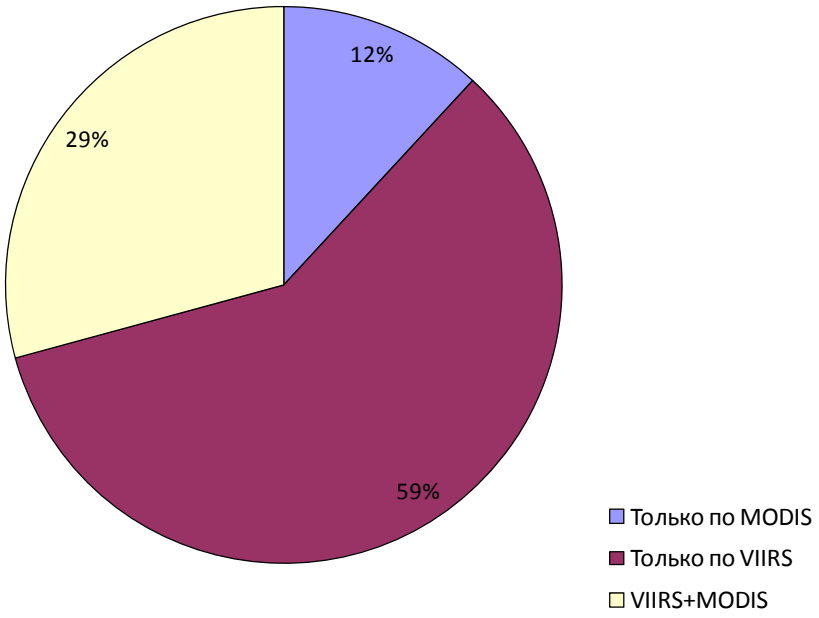


Рис. 1.1.1.2 - Количественное распределение пожаров по разным источникам

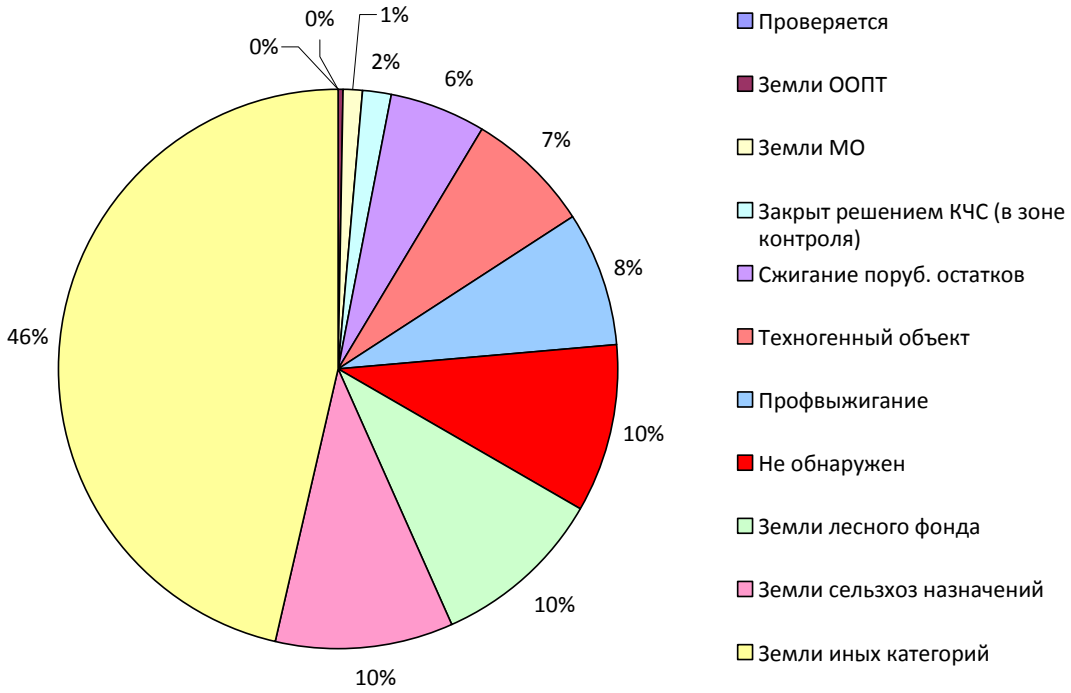


Рисунок 1.1.1.3 - Категории подтвержденных пожаров по данным VIIRS

1.1.2 Разработка методов и инструментов выявления задержек в процессе автоматизированной потоковой обработки спутниковых данных

В 2018 году мы существенно продвинулись в разработке методов и инструментов выявления задержек в процессе автоматизированной потоковой обработки спутниковых

данных. Это относится как к средствам сбора контрольной информации, так и к используемым для ее визуализации инструментам.

Современные системы доступа к спутниковым данным обеспечивают доступ к большому числу различных информационных продуктов, в том числе, оперативных. Для таких продуктов особенно важна минимизация времени задержки от получения исходных спутниковых данных до поступления в архивы информационных продуктов, полученных на их основе. Совокупность всех операций, необходимых для получения информационных продуктов во многих случаях можно представить в виде цепочки последовательно выполняемых операций получения исходных данных, проведения различных стадий их обработки и, наконец, архивации результатов. Таким образом, итоговая задержка в получении требуемых информационных продуктов есть сумма интервалов времени, затрачиваемых на выполнение отдельных операций над данными. Для того чтобы выявить вклад времени выполнения отдельных операций необходимо для каждой единицы исходных спутниковых данных протоколировать все этапы ее обработки. Это дает возможность выявить наиболее затратные по времени операции и принять меры по их оптимизации, устранению возможных неполадок, или же принять решение о необходимости наращивания вычислительных ресурсов.

В качестве иллюстрации того факта, насколько сложными могут быть цепочки обработки данных на рис. 1.1.2.1 приведена диаграмма последовательности этапов обработки данных прибора MODIS. Исходные данные поступают на базовый сервер и далее проходят большое число различных этапов обработки, реализованных на различных компьютерах. В цепочке получения продуктов принимают участие большое число промежуточных процессов, осуществляющих фильтрацию данных и получение информационных продуктов различных уровней обработки.

Для сбора информации о времени всех операций для каждого исходного сеанса спутниковых данных в каждом информационном узле используется единая БД data_monitoring. Она содержит информацию обо всех поступивших сеансах спутниковых данных и о времени окончания каждого из этапов его обработки. До недавнего времени доступ к этой информации обеспечивался в основном в виде громоздких отчетных таблиц, что было недостаточно наглядным и удобным. Теперь для визуализации информации о задержках в процессе обработки спутниковых данных от момента их получения до занесения в архивы итоговых информационных продуктов используются также возможности программного обеспечения BI. С помощью инструментов BI на основе собранной ранее информации можно строить наглядные отчёты, что позволяет быстро оценить текущую ситуацию и разобраться с тем, какие этапы обработки вносят аномальный вклад в суммарную задержку. Важным преимуществом BI инструментов является их большая гибкость, позволяющая осуществлять фильтрацию данных в интерактивном режиме (по времени, спутникам и сеансам), менять масштаб временной шкалы и т.д. Пример визуализации информации о задержках в процессе автоматизированной потоковой обработки спутниковых данных приведен ниже на рис. 1.1.2.2. Группы столбцов соответствуют различным сеансам спутниковых данных, а каждый из столбцов – одному из этапов обработки данных сеанса. По оси X отложено время, а по оси Y – время выполнения. Снизу приводится легенда, объясняющая какому из этапов соответствуют столбцы какого цвета.

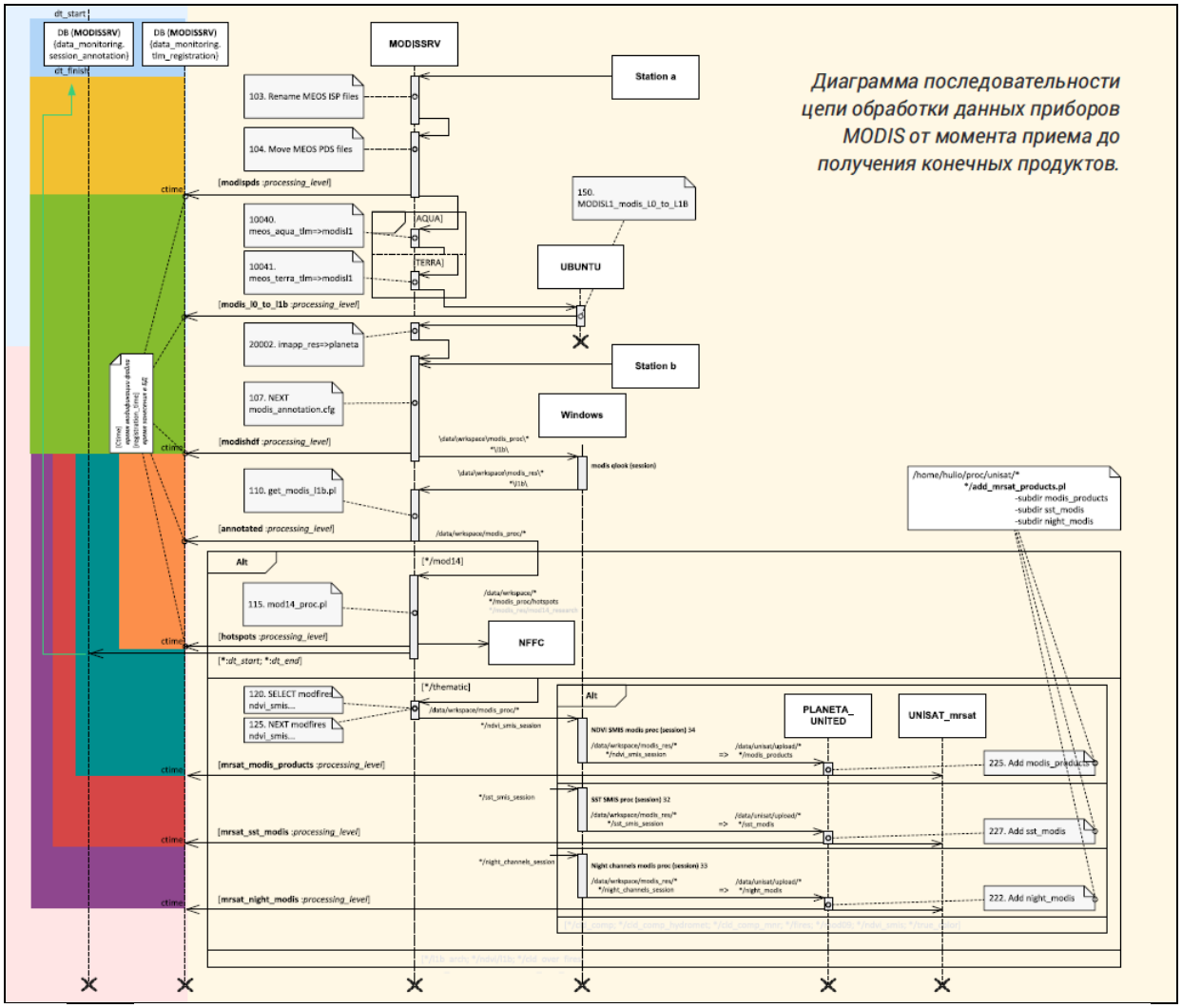


Рис. 1.1.2.1 - Диаграмма последовательности этапов обработки данных прибора MODIS

Рис. 1.1.2.2 - Пример визуализации информации о задержках в процессе автоматизированной потоковой обработки спутниковых данных.

1.1.3 Разработка методов обработки данных для анализа изменений среднемноголетней временной динамики вегетационных индексов различных сельскохозяйственных культур

В рамках работ по анализу состояния растительности в ИКИ РАН в 2018 году проводились работы по созданиюметодов обработки данных для анализа изменений среднемноголетней временной динамики вегетационных индексов различных сельскохозяйственных культур.

Для анализа состояния растительности традиционно используются различные вегетационные индексы (ВИ). Самый популярный из них NDVI. В информационных системах семейства «Созвездие-Вега» он так же является одним из основных вегетационных индексов. Для получения значений ВИ для районов и субъектов используется метод осреднения значений ВИ не по всей территории, а по различным классам растительности с использованием карт типов территории. Таким образом, можно анализировать изменение ВИ конкретного класса растительности в любом районе или субъекте.

При проведении анализа состояния объекта анализируется не только его текущее состояние, но и проводится сравнение с историческими данными этого объекта или, что более интересно, с неким «нормальным» состоянием. Под «нормальным» подразумевается некоторое среднее (обычное) состояние в котором находятся объекты определенного класса растительности на заданной территории. Т.е., «нормой» можно считать некое усредненное среднемноголетнее состояние растительности, характерное для заданной территории и класса. В качестве такой «нормы» обычно предлагается использовать среднемноголетнее значение для данного класса растительности в административном районе, где расположен объект.

В качестве среднемноголетнего значения, как правило, используются данные усредненные за достаточно большой промежуток времени. В архивах систем семейства «Созвездие-Вега» для ВИ NDVI это диапазон с 2001г по настоящее время. То есть, более 15 лет. Использовать среднее значение за более чем 15 лет возможно уже не совсем корректно, поскольку на таком большом промежутке времени уже начинают сказываться климатические изменения, которые неизбежно происходят. Климатические изменения выражаются в повышении температуры, неравномерном увеличении или уменьшении осадков, сдвиге вегетационных сезонов, что неизбежно сказывается на условиях вегетации растений.

Предложенные методы построения среднемноголетних значений и их анализа позволяют более гибко использовать среднемноголетние значения для «норм» при анализе динамики ВИ. В качестве основного варианта предлагается использование среднемноголетних значений усредненных за 5 лет. Использование 5 летних интервалов и скользящего окна позволяет построить целый ряд таких 5 летних «норм». Набор полученных таким методом интервалов представлен на рисунке 1.1.3.1. Инструменты анализа временных рядов систем семейства «Созвездие-Вега» позволяют проводить анализы изменчивости «норм» с течение времени для различных классов растительности и культур на любой территории не только РФ, но и любой части мира (при условии наличия данных в архивах).

В настоящий момент в информационных системах семейства «Созвездие-Вега» доступны к анализу 5 летние нормы более чем по 10 классам растительности во всех районах РФ. При достаточном накоплении многолетних данных по культурам на полях аналогичные нормы будут построены по каждой отдельной культуре.

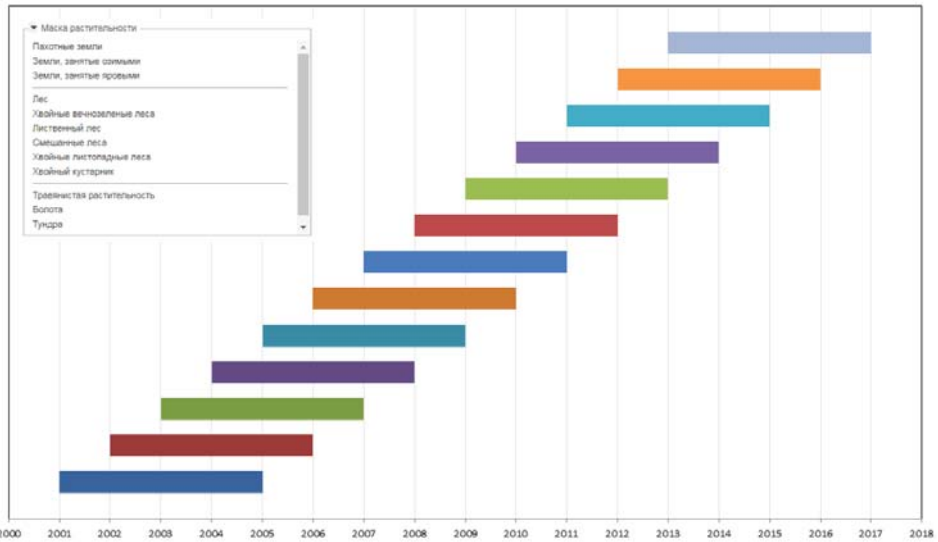


Рис. 1.1.3.1 - Набор временных интервалов 5-летних «скользящих» норм

При анализе состояния растительности целесообразно использовать ближайшую к сезону исследования 5 летнюю норму. Пример анализа для Московской области, Рузского района и яровых культур представлен на рисунке 1.1.3.2. При анализе отклонений текущего сезона, в случае использования ближайшей 5 летней нормы, состояние в начале развития (до максимума) будет оценено как «среднее» или «лучше среднего», тогда как при использовании среднемноголетней нормы состояние будет оценено как «хуже среднего».

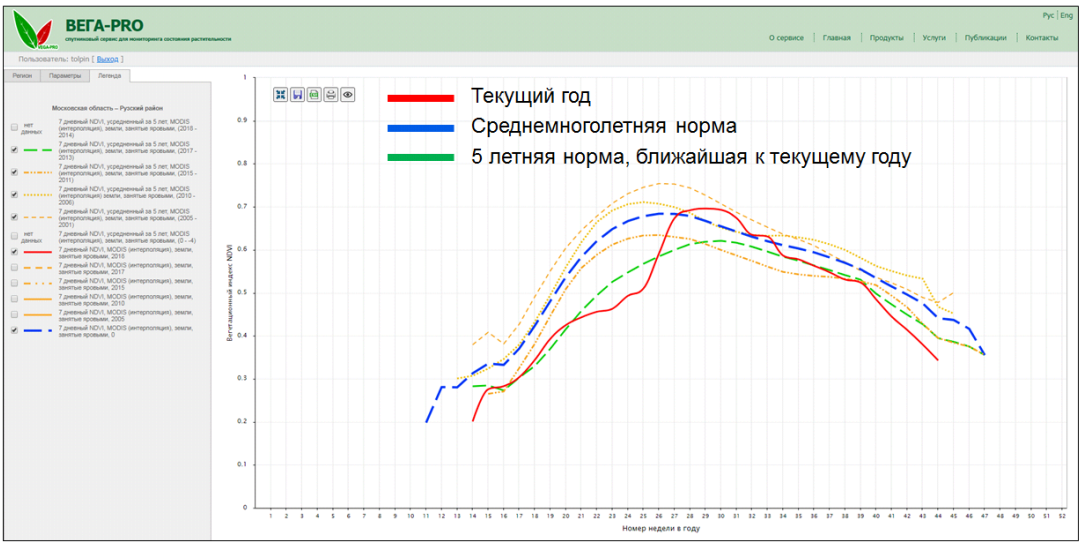


Рисунок 1.1.3.2 - Пример анализа 2018 года для Московской области, Рузского района и яровых культур

При анализе межгодовой динамики ВИ имеет смысл использовать не просто среднемноголетнее значение ВИ, а среднее 5 летнее значение за последнее время. Это позволяет уменьшить вклад климатических изменений при анализе отклонений развития растительности в текущем сезоне по отношению к среднемноголетней норме. В итоге, это позволяет проводить более точную оценку состояния растительности. 5 летний интервал выбран как наиболее часто используемый и упоминаемый в литературе при решении схожих задач и может быть изменен при необходимости.

1.1.4 Кросс-калибровка данных российских спутников методом гистограммного анализа

В 2018 году активно разрабатывались подходы ориентированные на проведения кросс-калибровки данных российских спутников (Метеор-М №1,№2, приборы КМСС-101, КМСС-102) методом сведения гистограмм с данными с известной калибровкой (MODIS) через равенство их частичные сумм на выбранных участках данных. Область интереса выбиралась следующим образом: район 50 градусов широты, данные КМСС утренние по местному времени, данные MODIS (использующиеся как эталон) - съемка по тому же участку поверхности через временной интервал около 100 минут. Важно отметить, что данные выбирались безоблачные, либо с небольшой облачностью. На сильно зашумленных данных алгоритм не тестировался. Пример выборки области интереса представлен на рис. 1.1.4

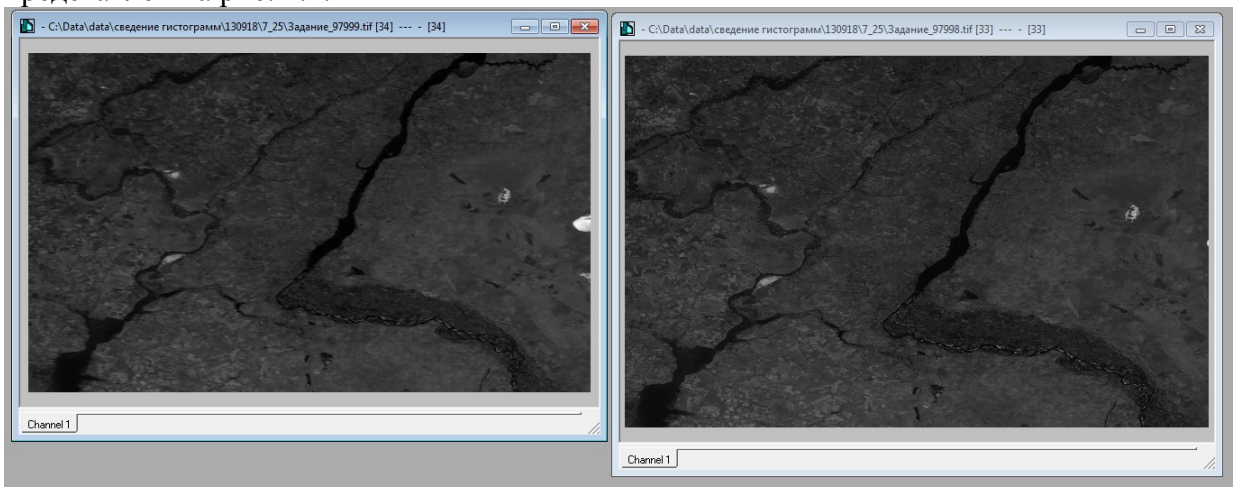


Рисунок 1.1.4.1 - Пример сопоставляемых данных приборов MODIS и КМСС

На рис. 1.1.4.2. приводятся графики сопоставления гистограмм канала 2 КМСС-102 (630 – 680 нм) с гистограммами канала 1 прибора MODIS с датами съемки от 13 сентября 2018 г до 4 октября 2018 года. Соответствие гистограмм проводилось сопоставлением нормализованного на 1 интеграла (частичной площади). Данные выбраны парами по одной территории с временной разницей около полутора часов и примерно одинаковой относительной геометрией съемки на одинаковой широте в разных географических регионах. Целью работы являлось также выявление устойчивости поведения отношения частичных сумм гистограмм, которая подтвердилась, как видно из графика суммарного распределения площадей по сценам с различной датой и местом съемки. Таким образом, предложенный метод можно считать устойчивым.

Кроме того, можно наблюдать, что в области максимума и основных значений гистограмм (ход гистограммы MODIS обозначен кривой синего цвета) преобразование практически линейное, но что более интересное – устойчивое для разных дат съемки. Построив таблицу преобразования и учитывая разные освещенности сцен (зенитный угол Солнца), возможно применение этого преобразования к данным КМСС для вычисления физических значений яркости пикселов, т.е. можно выполнить кросс-калибровку прибора КМСС по данным прибора MODIS.

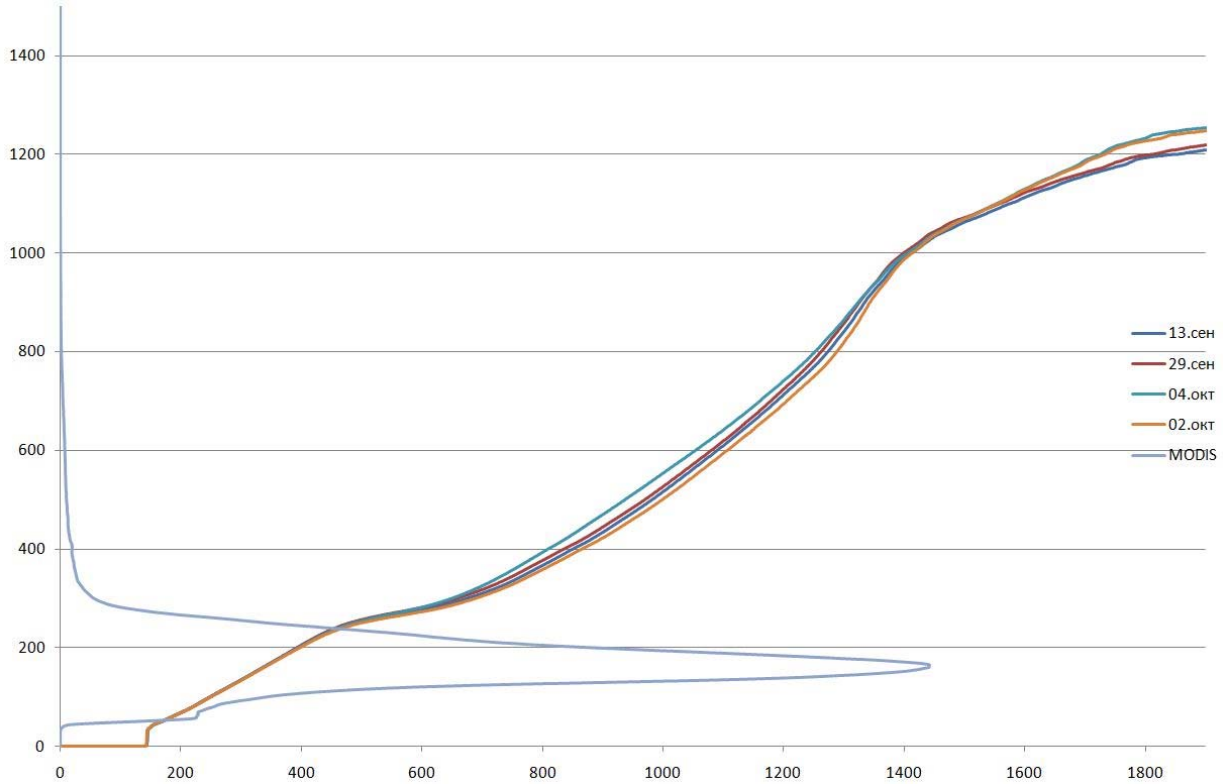


Рисунок 1.1.4.2 - графики преобразования гистограмм КМСС и МОДИС

1.2 Развитие методов и технологий автоматизированного ведения сверхбольших распределенных архивов спутниковых данных для обеспечения мониторинга и анализа состояния окружающей среды, природных и антропогенных объектов (пункт 4.1.2 плана работ на 2018 г.)

1.2.1 Направления развития подходов ведения сверхбольших распределенных архивов спутниковых данных для обеспечения создания и поддержки современных информационных систем дистанционного мониторинга (концепция создания специализированных информационных сред комплексного решения задач развития и поддержки современных информационных систем дистанционного мониторинга).

Проведенный в рамках темы "Мониторинг" в 2017 году Анализ тенденций и определение приоритетных направлений развития технологий построения систем информационных дистанционного мониторинга (СДМ) показал, что в настоящее время происходит активный переход данных технологий к стадии 5 их развития. Фактически это перспективная стадия развития технологий и подходов создания и эксплуатации СДМ, основаная на том, что современные информационные технологии позволяют эффективно поддерживать сложные распределенные информационные системы с использованием технической инфраструктуры, предоставляемой различными дата-центрами. При этом такие ресурсы могут предоставляться с использованием облачных технологий, что позволяет, в частности, выделять те или иные вычислительные ресурсы по мере того, как они становятся необходимы конкретному пользователю (в нашем случае информационной системе дистанционного мониторинга). Такой подход позволяет принципиально снизить начальные капиталовложения и время создания информационных систем, а также существенно повышает устойчивость их работы и простоту поддержки и развития. Создание и поддержка СДМ также может идти по такому пути, т.е., фактически, создаваться и эксплуатироваться на основе использования уже имеющихся ресурсов, которые могут предоставляться создаваемой системе, как сервисы. В пределе, при таком подходе в интересах конкретных СДМ необходимо лишь создавать специализированные

процедуры и интерфейсы работы с данными, которые могут функционировать, используя не принадлежащие СДМ информационные (сервисы представления данных) и вычислительные ресурсы, получая их в аренду или подписываясь на них. Это, в конечном итоге, должно позволить принципиально сократить расходы на создание СДМ, и позволить оптимизировать расходы на их эксплуатацию.

Следует иметь в виду и специфику СДМ, которая в первую очередь определяется необходимостью работы с большими объемами постоянно поступающих спутниковых данных, а также работы со сверхбольшими распределенными архивами данных ДЗЗ и результатов их обработки. Т.е. для того, чтобы обеспечить эффективность создания и поддержки СДМ, необходимо не только получить необходимые вычислительные ресурсы, но и сервисы по доступу к различным данным ДЗЗ и информации, получаемой на основе данных ДЗЗ. Кроме того, следует иметь в виду, что в настоящее время достаточно быстро развиваются технологии, позволяющие пользователям не только получать удаленный доступ к такой информации, но и получать возможность проводить ее обработку с использованием распределенных вычислительных ресурсов. Появляющиеся возможности также могут предоставляться СДМ, как сервисы.

Таким образом, значительное число функций современных СДМ может быть реализовано на основе сервисов, которые уже сегодня предоставляются различными центрами обработки, архивации и представления спутниковых данных, а именно:

- сервисы представления доступа к оперативным и историческим архивам спутниковых данных и результатов их обработки (в том числе, online-сервисы, позволяющие интегрировать различные информационные продукты в интерфейсы работы с данными различных СДМ);
- сервисы обработки данных (в том числе, online-сервисы, позволяющие интегрировать в СДМ различные процедуры распределенной обработки данных);
- сервисы по предоставлению вычислительных ресурсов для реализации различных блоков, входящих в состав СДМ.

Опыт развития систем приема (сбора), архивации, обработки и распространения данных ДЗЗ показывает, что сегодня только достаточно крупные центры (в том числе распределенные), выполняющие большое число работ в области создания и развития методов, технологий и систем дистанционного мониторинга, имеют возможность обеспечивать комплексное предоставление обсуждаемых выше сервисов. Это связано прежде всего с тем, что подобные центры должны обладать развитой технической инфраструктурой, способной поддерживать работу со сверхбольшими архивами спутниковых данных. В настоящее время действует достаточно ограниченное число подобных центров, и в дальнейшем маловероятно, что их число будет расти. Скорее в перспективе можно ожидать их объединения или консолидации. В нашей стране на сегодняшний день к таким центрам, которые могут оказывать весь спектр обсуждаемых сервисов, можно отнести лишь центры ФГБУ «НИЦ «Планета» (http://moscow.planeta.geosmis.ru/), Центр коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (http://ckp.geosmis.ru/) примерно в этом же направление развиваются центры Роскосмоса, в том числе НЦ ОМЗ (http://www.ntsomz.ru/). Отдельные сервисы (например, сервисы доступа к различным информационным продуктам) уже сегодня могут предоставлять и другие центры приема и обработки данных и специализированные СДМ.

Следует отметить, что уже сегодня имеется положительный опыт создания и эксплуатации различных СДМ на основе подходов, соответствующих Стадии 5. К таким системам, в частности, относятся текущие версии следующих систем дистанционного мониторинга:

- система дистанционного мониторинга "Sea The Sea" (http://ocean.smislab.ru) ориентирована на работу с данными спутниковых наблюдений для решения междисциплинарных задач исследования Мирового океана. Особое внимание в системе уделяется возможностям работы с данными спутниковой радиолокации (в основном данными, получаемыми со спутников серии Sentinel-1). Система

призвана обеспечить возможность одновременной работы с различными видами спутниковой информации и удобный инструментарий, позволяющий проводить ее комплексный анализ, специалистам, работающим в области исследования Мирового океана;

– система дистанционного мониторинга "Вега-Geoglam" (http://vega.geoglam.ru/) ориентирована на поддержку работ по развитию методов и технологий спутникового мониторинга сельского хозяйства в для создания системы глобального мониторинга сельского хозяйства GEOGLAM (http://geoglam.org). Разрабатывалась в рамках проекта SIGMA (https://twitter.com/SIGMA_GEOGLAM). Основная задача системы VEGA-GEOGLAM – обеспечение инструментами анализа данных наблюдений за земной поверхностью, результатами их обработки и другой соответствующей информацией, в частности, для тестовых участков сети SIGMA-JECAM, предназначенных для проведения исследований и разработок в области дистанционного сельскохозяйственного мониторинга;
– система дистанционного мониторинга "Вега-Приморье" (http://primorsky.geosmis.ru/) разработана и поддерживается АНО "Общество дикой природы", ООО "ИКИЗ" и ИКИ РАН в качестве пилотного проекта по организации комплексного космического мониторинга лесов Приморского края.

Все эти системы в настоящее время не имеют своей технической инфраструктуры и архивов спутниковых данных. Созданные в интересах систем специализированные интерфейсы и блоки анализа данных для работы с данными реализованы на технических ресурсах ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Это позволило создателям данных систем сосредоточиться на решении только специфических задач, стоящих перед системами. На этапе эксплуатации данных систем также не требуется специальной дорогостоящей поддержки технической инфраструктуры работы со спутниковыми данными. Опыт реализации данных систем показал, что подходы к созданию СДМ, которые предлагается использовать на пятой Стадии развития подходов к построению систем дистанционного мониторинга, работоспособны и обеспечивают возможность решения задач разной тематической направленности с использованием единой технической и информационной инфраструктуры ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Это позволяет создавать их в достаточно короткие сроки, эффективно поддерживать и постоянно развивать. Следует особо отметить, что по мере появления в центре, предоставляющем сервисы СДМ, новых возможностей (например, новых типов данных и/или функций их анализа), эти возможности с минимальными затратами появляются и у специализированных систем мониторинга.

Отметим также, что развиваемые в рамках обсуждаемых подходов СДМ автоматически получают технические возможности работы с данными не только с ресурсами ЦКП «ИКИ-Мониторинг», который предоставляет им различные сервисы, но и с ресурсами центров и систем, с которыми у ЦКП имеются схемы сервисного взаимодействия. Такие возможности в настоящее время реализованы для Объединенной системы работы с данными ФГБУ «НИЦ «Планета», Геопорталом Роскосмоса, ИСДМ-Рослесхоз и др.

Таким образом, мы видим, что в настоящее время есть технические возможности для начала активного использования подходов Стадии 5 создания и поддержки информационных систем дистанционного мониторинга, на которой технической основой развития специализированных СДМ становится уже действующая инфраструктура крупных центров сбора, обработки и распространения спутниковых данных. В России такие центры создаются и развиваются Росгидрометом (ФГБУ «НИЦ «Планета»), Роскосмосом (НЦ ОМЗ АО "Российские космические системы») и Министерством науки и высшего образования (ИКИ РАН). Эти центры развиваются в том числе при поддержке Федеральной космической программы (проекты развития Единой территориально-распределенной сети работы с данными ДЗЗ (ЕТРИС ДЗЗ). Такие центры обеспечивают первичную и стандартную обработку поступающих в них данных, большинство из этих

центров уже сегодня предоставляют широкий спектр сервисов не только для распределенного доступа к данным, но и для проведения их анализа и обработки. Также такие центры могут предоставлять возможности размещения элементов создаваемых СДМ на своей территории, в том числе и на предоставляемых центрами вычислительных ресурсах.

Опыт последнего десятилетия показал, что с увеличением роста объемов доступных спутниковых данных и развитием технологий, позволяющих распределенную работу с ними, следует ожидать, что все больше действующих и вновь создаваемых СДМ будут развиваться на основе подходов Стадии 5. Поэтому, безусловно, у крупных центров будут расширяться возможности по предоставлению услуг, востребованных организациями, осуществляющими разработку и поддержку СДМ. Исходя из этого, на наш взгляд, одним **из наиболее актуальных направлений развития таких центров будет создание в их рамках специализированных информационных сред, позволяющих комплексно решать задачи создания и поддержки СДМ**, включая задачи интеграции в них различных информационных ресурсов, в том и представляемых самими системами дистанционного мониторинга. Эти среды должны предоставлять разработчикам СДМ:

- удобные и стандартизированные сервисы доступа к данным и результатам их обработки, включая сервисы доступа к различным информационным продуктам различных информационных систем;
- сервисы обработки данных (возможность заказа и анализа различных стандартизированных информационных продуктов непосредственно в интерфейсах СДМ)
- сервисы анализа данных (инструменты анализа, которые могут быть интегрированы в СДМ);
- вычислительные ресурсы для размещения элементов СДМ, в том числе и динамически выделяемые;
- средства для разработки элементов СДМ, в том числе для:
  - ведения архивов данных;
  - создания различных интерфейсов работы с данными;
  - разработки процедур распределенной обработки данных;
  - разработки различных блоков предоставления сервисов, которые в дальнейшем будут представлять сами СДМ;
  - создания блоков удаленного контроля и управления элементами СДМ (в том числе распределенными).

Следует также отметить, что эффективность и привлекательность таких сред будет повышаться, если они обеспечат возможность online-работы разработчиков СДМ не только с отдельным центром, но и ресурсами, предоставляемыми группами центров. Это может быть обеспечено либо путем реализации одной технологической среды в различных центрах, либо созданием и внедрением стандартов взаимодействия различных сред. В нашей стране эти задачи могут быть, в частности, решены в рамках работ по созданию и развитию ЕТРИС ДЗЗ.

1.2.2 Поддержка функционирования сверхбольших файловых хранилищ и автоматизация процедуры распределения новых данных по серверам хранения.

В 2018 году была существенным образом модернизирована система поддержки функционирования распределенного файлового хранилища, включающего в себя более 30 серверов и специализированных СХД. Система оперативно информирует персонал о неполадках, возникших в работе серверов, корректным образом временно отключает их из использования, а затем автоматически подключает их по мере их восстановления. Реализовано также централизованное изменение настроек, как всех серверов хранения, так и серверов, которым необходим к ним доступ.

В 2018 году была реализована система автоматизированного распределения поступающих на архивацию данных по имеющимся в наличии серверам хранения. Все сервера хранения и СХД специальным образом регистрируются в системе, после чего в соответствии с выставленными приоритетами система архивация автоматически выбирает сервер, на который будут помещены те или иные типы новых спутниковых данных, а при исчерпании свободного места на том или ином сервере хранения - автоматически переходит на следующий. Таким образом, необходимое участие специалистов в задаче масштабирования файлового хранилища было существенным образом минимизировано. Также реализован механизм, позволяющий системе обработки спутниковых данных помещать полученные результаты непосредственно на тот сервер, на котором они будут храниться, что дает возможность исключить копирование данных с сервера архивации на сервера хранения. Таким образом, скорость усвоения данных в архивы была существенно увеличена.

1.2.3. Развитие системы контроля и управления распределенными архивами спутниковых данных (Расширенная статистика о наличии данных в архивах и о поступлении в систему новых спутниковых данных из различных источников).

В 2018 году был разработан специализированный интерфейс «Форма получения статистики наличия данных в архивах UNISAT», предназначенный для получения статистики о наличии в архивах указанных типов спутниковых данных по заданной географической области, физически находящихся на серверах указанных информационных узлов. Эта информация часто бывает полезной для решения самых разных задач, связанных с поддержкой работы распределенного архива, обработкой данных, предоставлением данных другим организациям и и многих других. Существенно, что географическая область может быть задана различными способами: выбор из заранее предопределенных вариантов, ограничивающая прямоугольная область (BBOX) или полигон в формате WKT. На рис. 1.2.3.1 приведен пример запроса статистики наличия данных спутников SENTINEL 2 за 2018 год по зоне интереса информационной системы «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» VolSatView.

Также в 2018 году был реализован аналогичный интерфейс «Форма получения статистики поступления данных в архивы UNISAT», позволяющий получить статистику поступления тех или иных спутниковых данных за указанный диапазон времени, т.е. диапазон, в течение которого данные поступили в архивы. Такая информация просто необходима для планирования работ по наращиванию мощностей хранения данных. Пример использования этой формы приведен ниже на рисунке 1.2.3.2.

Форма получения статистики наличия данных в архивах UNISAT

Архив: unisat_hrsat

Диапазон дат: 2018-01-01 - 2018-11-29

Приборы	Спутники				
ASTER	TERRA				
ASTER_TIR	TERRA				
ASTER_VNIR	TERRA				
AVNIR-2	ALOS				
DEIMOS	DEIMOS				
ETM+	LANDSAT 7				
ETM+ атм кор	LANDSAT 7				
HICO	HICO				
HYPERION	EO-1				
MSI	SENTINEL-2A	SENTINEL-2B			
OLI	LANDSAT 8				
OLI атм кор	LANDSAT 8				
OLI-TIRS	LANDSAT 8				
ORBVIEW-3	ORBVIEW-3				
QUICKBIRD	QUICKBIRD				
TM	LANDSAT 4	LANDSAT 5			
WORLDVIEW	WORLDVIEW				
Геотон-П	Ресурс-П №1	Ресурс-П №2	Ресурс-П №3		
КМСС-101	Метеор-М1	Метеор-М2			
КМСС-102	Метеор-М1	Метеор-М2			
КМСС-50	Метеор-М1	Метеор-М2			
КШМСА-ВР	Ресурс-П №1	Ресурс-П №2	Ресурс-П №3		
КШМСА-СР	Ресурс-П №1	Ресурс-П №2	Ресурс-П №3		
МСС	БКА	Канопус-В	Канопус-В-ИК		
ПСС	БКА	Канопус-В	Канопус-В №3	Канопус-В №4	Канопус-В-ИК

Выбрать все | Отключить все

Запросить статистику | Запросить статистику в новом окне

Станции: ALO, ASTER_LPDAAC, DVRCPOD, ESA, NCOMZ, PLANETA, PUSHKINO, SMIS, USGS, ZSRCPOD — Выбрать все | Отключить все

Тома хранения: nffc_hrsatdb (ИКИ РАН), dvrcpod_united (Пл.-Хабаровск), fktweb (Франкфурт), planeta_united (Пл.-Москва), zsrcpod_united (Пл.-Новосибирск) — Выбрать все | Отключить все

Координатная область: Без ограничений; Выбор из предопределенных областей: VolSatView; BBOX - min_lon,min_lat,max_lon,max_lat:; WKT полигон:

Статистика наличия данных в архиве unisat_hrsat с 2018-01-01 по 2018-11-29

№	Прибор	Спутник	Станции	Тома хранения	Начальная дата	Конечная дата	Кол-во сеансов (сцен)	Объем данных Гб
1	MSI	SENTINEL-2A	ESA	fktweb nffc_hrsatdb	2018-01-01	2018-11-28	5905	24483
		SENTINEL-2B	ESA	fktweb nffc_hrsatdb	2018-01-01	2018-11-28	5874	24872
ИТОГО:	-	-	-	-	**2018-01-01**	**2018-11-28**	**11779**	**49355**

+ SQL запрос:

Рис. 1.2.3.1 - Пример использования формы получения статистики о наличии данных в архивах UNISAT.

Форма получения статистики поступления данных в архивы UNISAT

Архив: unisat_hrsat

Диапазон дат поступления данных: 2018-11-01 - 2018-11-29 - Только за вторую дату

Приборы	Спутники				
ASTER	TERRA				
DEIMOS	DEIMOS				
ETM+	LANDSAT 7				
ETM+ атм кор	LANDSAT 7				
HYPERION	EO-1				
MSI	SENTINEL-2A	SENTINEL-2B			
OLI	LANDSAT 8				
OLI атм кор	LANDSAT 8				
OLI-TIRS	LANDSAT 8				
ORBVIEW-3	ORBVIEW-3				
QUICKBIRD	QUICKBIRD				
TM	LANDSAT 4	LANDSAT 5			
WORLDVIEW	WORLDVIEW				
Геотон-П	Ресурс-П №1	Ресурс-П №2	Ресурс-П №3		
КМСС-101	Метеор-М1	Метеор-М2			
КМСС-102	Метеор-М1	Метеор-М2			
КМСС-50	Метеор-М2				
КШМСА-ВР	Ресурс-П №1	Ресурс-П №2			
МСС	БКА	Канопус-В	Канопус-В-ИК		
ПСС	БКА	Канопус-В	Канопус-В №3	Канопус-В №4	Канопус-В-ИК

Выбрать все | Отключить все

Запросить статистику | Запросить статистику в новом окне

Станции: ALO, ASTER_LPDAAC, DVRCPOD, ESA, NCOMZ, PLANETA, PUSHKINO, SMIS, USGS, ZSRCPOD — Выбрать все | Отключить все

Тома хранения: nffc_hrsatdb (ИКИ РАН), dvrcpod_united (Пл.-Хабаровск), fktweb (Франкфурт), planeta_united (Пл.-Москва), zsrcpod_united (Пл.-Новосибирск) — Выбрать все | Отключить все

Статистика поступления данных в архив unisat_hrsat с 2018-11-01 по 2018-11-29

№	Прибор	Спутник	Станции	Тома хранения	Начальная дата	Конечная дата	Кол-во сеансов (сцен)	Объем данных Гб
1	MSI	SENTINEL-2A	ESA	nffc_hrsatdb	2018-11-01	2018-11-29	10988	29661.98
		SENTINEL-2B	ESA	nffc_hrsatdb	2018-11-01	2018-11-29	12310	28249.07
ИТОГО:	-	-	-	-	**2018-11-01**	**2018-11-29**	**23298**	**57911.05**

+ SQL запрос:

Рис. 1.2.3.2 - Пример использования формы получения статистики поступления данных в архивы

В настоящее время исходные спутниковых данные поступают в архивы ЦКП «ИКИ-Мониторинг» на постоянной основе из целого ряда различных центров распространения спутниковых данных. При этом реализация подсистем, отвечающих за получение данных из различных источников, существенно отличается, как и сами получаемые данные. В результате до недавнего времени у нас была достаточно разнородная статистика, характеризующая работу этих подсистем. В 2018 году было реализовано программное обеспечение, позволяющее получать ежедневные отчеты о работе всех основных из этих подсистем в едином формате. Статистика позволяет оценить среднюю скорость поступления данных за различные периоды времени (сутки, 3 дня, месяц и т.д.), информацию о текущей очереди закачки, понять, успеваем ли мы скачивать данные, поступающие в очередь, заносятся ли они все в архивы и т.д. Ежедневный отчет о поступлении данных формируется в текстовом виде и рассылается по электронной почте ответственным специалистам. Реализована также возможность запроса аналогичного отчета за любые указанные сутки по заданным типам данных. Первый блок отчета содержит информацию об ошибках, выявленных за указанные сутки. Далее приводится подробная статистика по каждому из типов данных, а в заключении приводится интегральная информация о поступлении исходных спутниковых данных из всех источников. Ниже приведен пример ежедневного отчета.

```
<-------------------------------------------------------------------------------------------------
*** Статистика скачивания и усвоения данных за дату 2018-11-27 (UTC) ***

!!! За сутки детектированы следующие ошибки:
[LANDSAT]
Скачано существенно меньше (<75%), чем в среднем за неделю
"Скачано/поступило в очередь" < 90%
[SENTINEL 3]
Поступило в очередь оперативных данных существенно меньше (<75%), чем в среднем за неделю


[SENTINEL 1]
Всего скачано:   177Tb
Текущая очередь:  68Tb
+----------------------------------------------+--------+--------+--------+--------+----------+
| Характеристики за периоды времени:           | сутки  | 3 дня  | неделя | месяц  | 3 месяца |
+----------------------------------------------+--------+--------+--------+--------+----------+
| Скачивалось                        (Гб/сут) |    308 |    260 |    294 |    327 |    461   |
| Поступало в очередь оперативных    (Гб/сут) |    308 |    260 |    290 |    312 |    317   |
| Поступало в очередь исторических   (Гб/сут) |      0 |      0 |      0 |      0 |      3   |
| Изменение размера очереди          (Гб)     |      0 |      0 |    -30 |   -444 | -12712   |
| Скачано/поступило в очередь        (%)      |    100 |    100 |    101 |    104 |    144   |
| Занесено в БД/скачано              (%)      |    100 |    100 |    104 |    100 |     99   |
+----------------------------------------------+--------+--------+--------+--------+----------+

[SENTINEL 2]
Всего скачано:   224Tb
Текущая очередь: 167Tb
+----------------------------------------------+--------+--------+--------+--------+----------+
| Характеристики за периоды времени:           | сутки  | 3 дня  | неделя | месяц  | 3 месяца |
+----------------------------------------------+--------+--------+--------+--------+----------+
| Скачивалось                        (Гб/сут) |   1802 |   2026 |   2062 |   1965 |   1334   |
| Поступало в очередь оперативных    (Гб/сут) |    769 |    798 |    807 |    921 |   1223   |
| Поступало в очередь исторических   (Гб/сут) |      0 |      0 |      3 |     15 |     15   |
| Изменение размера очереди          (Гб)     |  -1033 |  -3683 |  -8758 | -30846 |  -8618   |
| Скачано/поступило в очередь        (%)      |    234 |    253 |    254 |    209 |    107   |
| Занесено в БД/скачано              (%)      |    127 |    107 |    100 |    103 |     91   |
+----------------------------------------------+--------+--------+--------+--------+----------+

[SENTINEL 3]
Всего скачано:     8Tb
Текущая очередь: 1011Gb
+----------------------------------------------+--------+--------+--------+--------+----------+
| Характеристики за периоды времени:           | сутки  | 3 дня  | неделя | месяц  | 3 месяца |
+----------------------------------------------+--------+--------+--------+--------+----------+
| Скачивалось                        (Гб/сут) |     30 |     28 |     28 |     30 |     52   |
| Поступало в очередь оперативных    (Гб/сут) |   ! 32 |     66 |     57 |     38 |     39   |
| Поступало в очередь исторических   (Гб/сут) |      0 |      0 |      0 |      0 |      0   |
| Изменение размера очереди          (Гб)     |      2 |    114 |    200 |    232 |  -1179   |
| Скачано/поступило в очередь        (%)      |     93 |   ! 43 |   ! 50 |   ! 79 |    133   |
| Занесено в БД/скачано              (%)      |    100 |    110 |    317 |    111 |   ! 71   |
+----------------------------------------------+--------+--------+--------+--------+----------+

[LANCE MODIS]
Всего скачано:    96Tb
```

Текущая очередь: 7.8Tb

Характеристики за периоды времени:		сутки	3 дня	неделя	месяц	3 месяца
Скачивалось	(Гб/сут)	65	63	59	49	49
Поступало в очередь оперативных	(Гб/сут)	66	66	66	67	67
Поступало в очередь исторических	(Гб/сут)	0	0	0	0	0
Изменение размера очереди	(Гб)	1	11	49	537	1626
Скачано/поступило в очередь	(%)	98	94	! 89	! 73	! 73
Занесено в БД/скачано	(%)	96	! 89	! 86	! 88	! 82

[LANDSAT]
Всего скачано: 526Tb
Текущая очередь: 1.2Tb

Характеристики за периоды времени:		сутки	3 дня	неделя	месяц	3 месяца
Скачивалось	(Гб/сут)	! 29	34	92	120	153
Поступало в очередь оперативных	(Гб/сут)	97	103	98	117	136
Поступало в очередь исторических	(Гб/сут)	2	1	107	42	30
Изменение размера очереди	(Гб)	70	209	793	1182	1182
Скачано/поступило в очередь	(%)	! 29	! 33	! 44	! 75	92
Занесено в БД/скачано	(%)	103	102	101	102	98

[ALL TYPES]
Всего скачано: 1034Tb
Текущая очередь: 246Tb

Характеристики за периоды времени:		сутки	3 дня	неделя	месяц	3 месяца
Скачивалось	(Гб/сут)	2234	2412	2537	2493	2050
Поступало в очередь оперативных	(Гб/сут)	1272	1295	1320	1457	1783
Поступало в очередь исторических	(Гб/сут)	2	1	110	57	48
Изменение размера очереди	(Гб)	-960	-3349	-7746	-29339	-19701
Скачано/поступило в очередь	(%)	175	186	177	164	111
Занесено в БД/скачано	(%)	122	106	102	103	92

---------->

1.3 Разработка новых методов и технологий, обеспечивающих эффективную работу с распределенными сверхбольшими архивами спутниковых данных и результатов их обработки. В том числе создание инструментов для анализа и обработки спутниковых данных с использованием распределенных вычислительных ресурсов. (пункт 4.1.3 плана работ на 2018 г.)

1.3.1 Интеграция сервиса доступа к спутниковым данным в облачную платформу С2

В 2018 году специалистами ИКИ РАН и ВМК МГУ был реализован действующий макет системы доступа к спутниковым данным, интегрированной в облачную платформу С2. Основной целью совместных работ является выработка технологий, позволяющих на площадках различных университетов развертывать комплексы доступа к данным ДЗЗ, предназначенные для обучения студентов основам работы со спутниковыми данными, а в перспективе также и для решения различных исследовательских и прикладных задач. Ключевым преимуществом разрабатываемых технологий является возможность быстрого развертывания комплексов доступа к спутниковым данным и их динамического масштабирования в зависимости от текущих потребностей и имеющихся в наличии ресурсов.

При создании действующего макета были использованы архивы спутниковых данных, а также технические и технологические возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг», созданного и поддерживаемого специалистами отдела «Технологии спутникового мониторинга» ИКИ РАН. Ниже на рис. 1.3.1.1 приведена упрощенная схема взаимодействия сервисов в рамках реализованного макета, на которой красным цветом выделены элементы, соответствующие динамически создаваемым сервисам. Функциональная схема участвующих в работе макета серверов приведена на рис. 1.3.1.2.

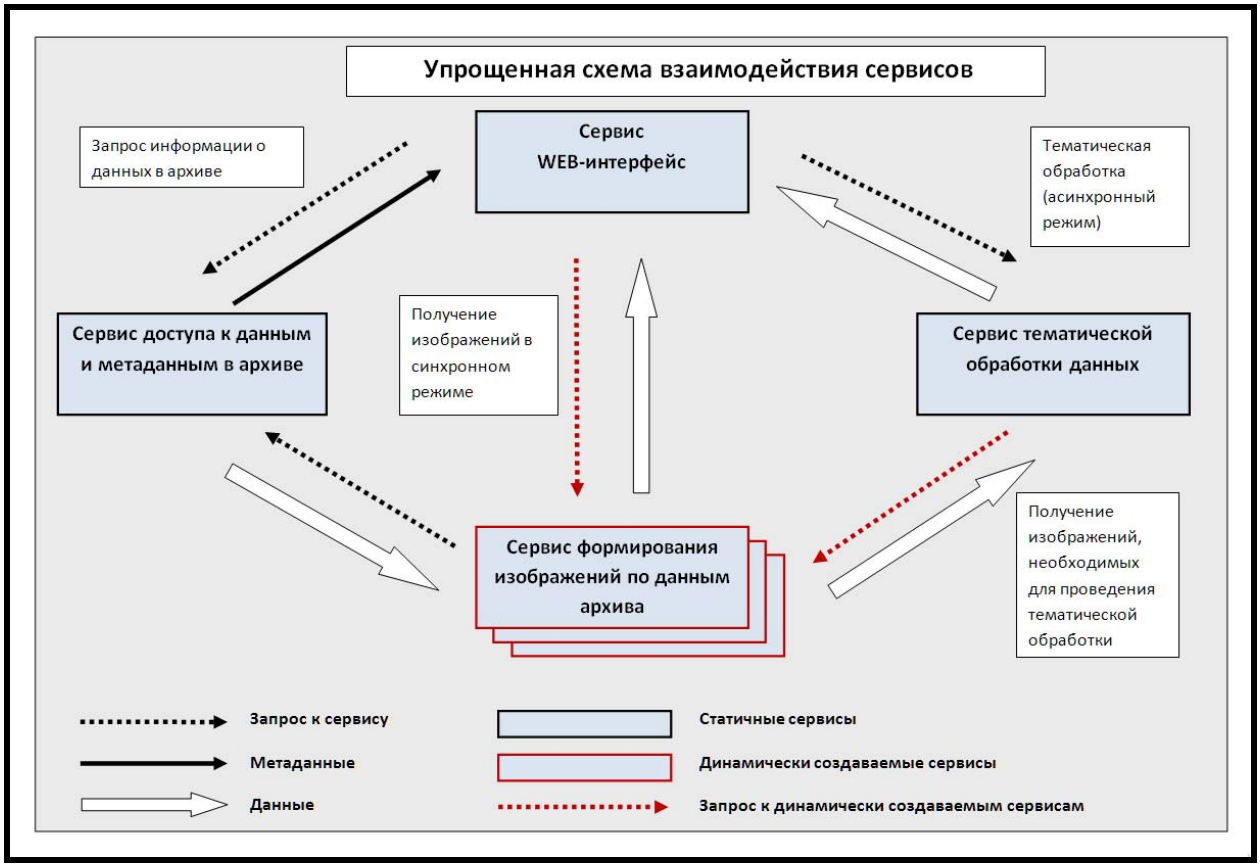


Рис. 1.3.1.1 - Упрощенная схема взаимодействия сервисов

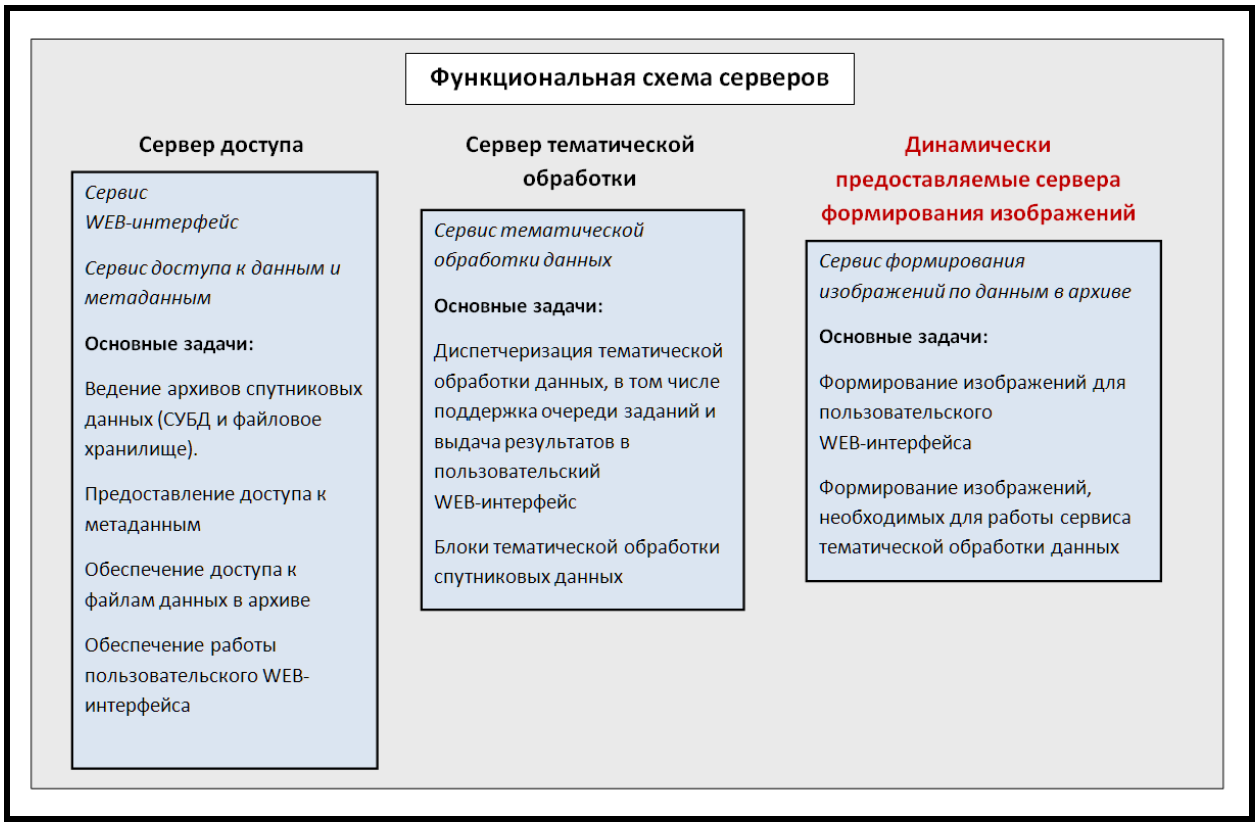


Рис. 1.3.1.2 - Функциональная схема серверов

Разработанная специалистами ВМК МКУ платформа С2 построена на базе использования технологий программно-конфигурируемых сетей (SDN) и виртуализации сетевых функций (NFV) и позволяет создавать виртуализированную инфраструктуру для каждого

отдельного научно-исследовательского эксперимента. Платформа C2 предоставляет виртуальные сетевые сервисы (VNS) на базе виртуализации функций телекоммуникационного оборудования (vCPE), которая позволяет реализовать сетевые службы (например, маршрутизаторы и файерволы) на программном уровне, а не на базе специализированного оборудования. Благодаря этому достигается ускорение процедуры развертывания новых сервисов и удаленная их конфигурация, что позволяет пользователям получать требуемые сервисы по запросу. «Жизненный» цикл облачного сервиса состоит из следующих основных стадий:

- Спецификация сервиса (TOSCA, IaaS,Saas,BigData и др.)
- Выделение ресурсов для экземпляра сервиса
- Разворачивание экземпляра сервиса
- Конфигурация экземпляра сервиса
- Запуск сервиса
- Отключение сервиса и освобождение ресурсов

Применение реализованного в макете подхода позволяет создавать среду как для обучения студентов, так и для проведения различных научных исследований на основе автоматически масштабируемой инфраструктуры виртуальных вычислений, которая должна:

1.3.2. Инструмент анализа линеаментов в информационных системах семейства "Созвездие-Вега"

К возможностям интерактивной обработки данных, предоставляемых ресурсами центра коллективного пользования ИКИ-Мониторинг, была добавлена возможность структурного анализа спутниковых снимков. Такая возможность появилась в информационных системах семейства "Созвездие-Вега" и доступна как при анализе разных спектральных каналов спутниковых изображений различного происхождения, так и при обработке цифровых моделей рельефа (SRTM, ASTER). Возможность предоставляется пользователям в виде специализированного информационного инструмента, созданного на основе предложенной нами технологии, и позволяющей проводить достаточно сложную обработку доступных в системе данных.

Информационный инструмент структурного анализа спутниковых снимков реализует технологию LESSA – Linement Extraction and Stripe Statistcal Analysis, (http://www.lineament.ru/). Эта технология предназначена для автоматизации анализа в геологических исследованиях данных различного типа - изображений, схем, цифровых моделей рельефа (ЦМР). LESSA - это технология, позволяющая получить единообразное численное описание рисунка (текстуры) этих данных, описание распределения и ориентация мелких линейных элементов рисунка.

Первый шаг анализа - обнаружение этих линейных элементов, которые мы будем называть штрихами. На полутоновом изображении выявляются спрямленные участки границ областей разной яркости. В бинарном изображении выделяются оси линий. В цифровой модели рельефа выявляются спрямленные участки хребтов и долин. Для каждой точки штриха определяется его направление с точностью до 22,5 градусов, т.е. одно из следующих восьми направлений 0, 22.5, 45, 67.5, 90, 111.5, 135, 157.5 (угол измеряется от горизонтали справа - налево). Уверенно выявляются только штрихи, размер которых не меньше 5-10 пикселей.

Второй шаг анализа - подсчет в скользящем окне суммарной длины штрихов каждого направления, плотности штрихов. Эти и другие “ориентационные” характеристики текстуры отображаются растровыми изображениями (матрицами), а также строятся поля

векторов, розы-диаграммы (сокращенно, розы), и др. Можно получать объединенные розы для разных слоев многозонального изображения или сравнивать разновременные данные.

Еще одна возможность анализа штрихов - формирование на их основе прямых, протяженных линеаментов. Пользователь получает возможность просматривать линеаменты, отбирать их по направлению и по степени выраженности, составлять из них схему. В отличие от объективного описания рисунка статистическими характеристиками, протяженные линии – это только подсказки пользователю. Их необходимо сопоставить с геологическими данными и с другими результатами анализа.

Результаты расчетов используются для прямого дешифрирования, для анализа в ГИС, а также для дальнейшей обработки с помощью стандартных программ обработки изображений. При использовании LESSA для прямого дешифрирования необходимо иметь в виду, что в этой технологии не ставится цель указать все явно различимые структуры. Ее задача - обратить внимание на слабо заметные структуры, границы, особенности изображения. Пример реализованных возможностей анализа линеаментов представлен на рис. 1.3.2.1

Необходимо отметить, что методически чрезвычайно важен выбор шага дискретизации изображения (реальный размер пикселя) и размера окна анализа. Этим выбором пользователь задает размер мелких структур, которые он хотел бы учесть, и размер структур, которые он предполагает выявить.

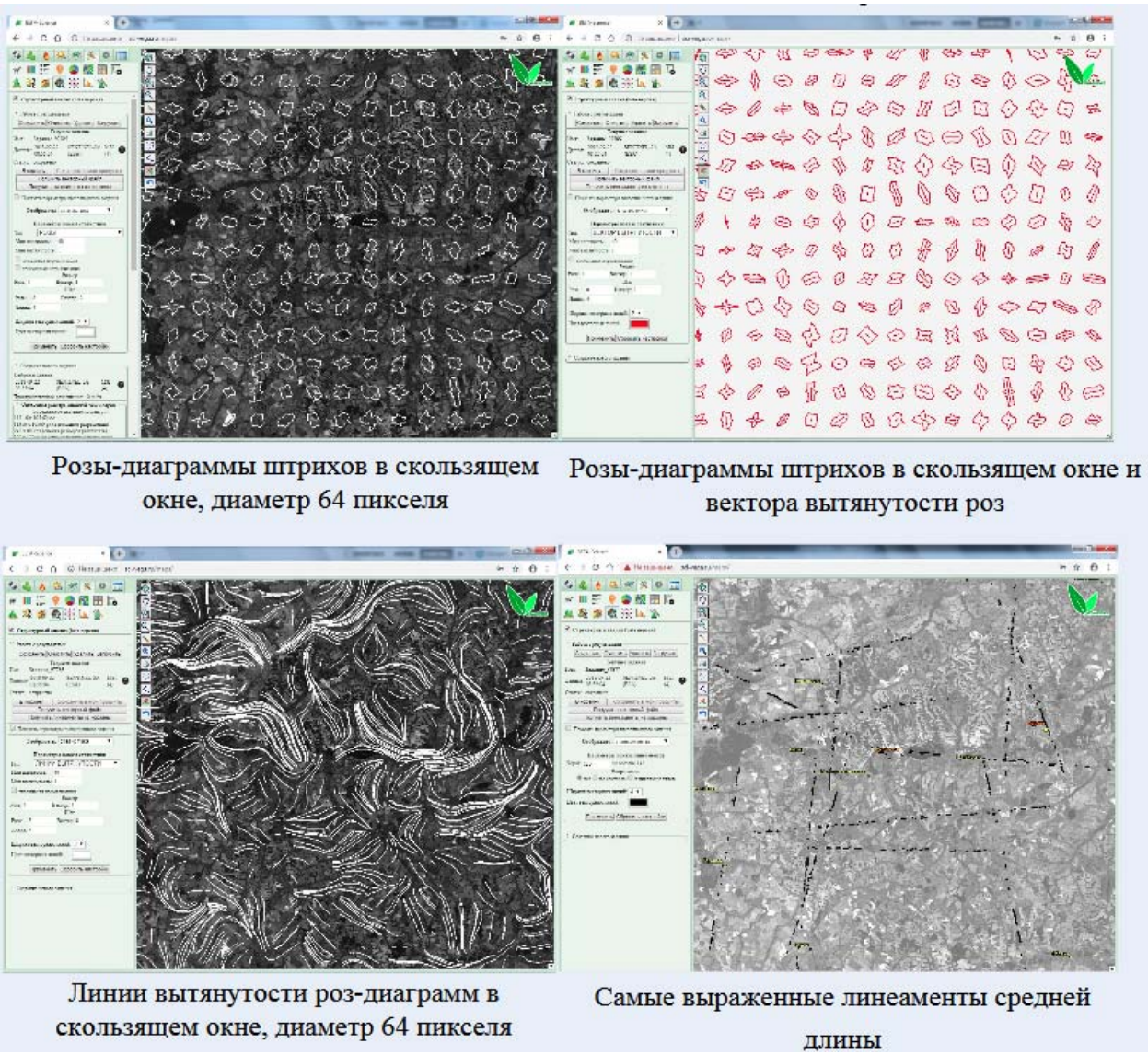


Рис. 1.3.2.1 - Пример реализованных возможностей анализа линеаментов

1.3.3 Разработка инструментов анализа спутниковых данных для изучения быстроразвивающихся процессов

Наличие ежедневно пополняемых распределённых архивов спутниковых данных и реализованные в информационных системах инструменты анализа и обработки этих данных позволяют в режиме близком к реальному времени исследовать быстроразвивающиеся природные процессы. Система анализа временных рядов спутниковых наблюдений и данных полученных на их основе позволяет проводить мониторинг и исследование состояния различных объектов. Такие возможности в настоящее время используются для мониторинга вулканической активности, развития сельскохозяйственных угодий, динамики участков повреждения леса и других природных и антропогенных объектов. Пример инструмента для проведения такого анализа динамики динамика яркостной температуры в канале 3,9 мкм прибора AHI спутника Himawari-8 участка постоянных наблюдений на вулкане Ключевской приведен на рис. 1.3.3.1.

Развитие системы анализа временных рядов в 2018 году позволило реализовать новые возможности для пользователей:

- автоматическое определение фоновых значений радиояркостной температуры вокруг наблюдаемого объекта с возможностью как построения дополнительного графика, так и определения отклонения динамики объекта от динамики фона;
- определение динамических характеристик в рамках настраиваемого скользящего окна, в том числе, скользящего среднего, среднеквадратического отклонения, а также отклонения текущих значений от средних;
- сплайн-интерполяция для сглаживания временных рядов;
- преобразование между спектральной энергетической яркостью и радиояркостной температурой.

Другим направлением развития инструментов анализа рядов спутниковых наблюдений была разработка подсистемы подготовки анимированных визуализаций на базе имеющихся продуктов обработки спутниковых данных, тематических слоев, а так же результатов моделирования различных процессов и явлений.

Инструмент создания анимации в картографических интерфейсах систем мониторинга позволяет легко управлять процессами построения анимированного изображения на основе серии наблюдений спутниковыми системами. Созданный блок построения анимаций обеспечивает автоматический подбор данных в соответствии с граничными условиями и параметрами, заданными специалистом, работающим с информационной системой, либо данные для анимации формируются из набора снимков, подобранных самим специалистом. Кроме спутниковых данных система создания анимаций позволяет включать любые тематические слои и картографию, в том числе меняющуюся во времени, такую как метеорологические данные, результаты различного моделирования, результаты наблюдений пожаров и т.д.

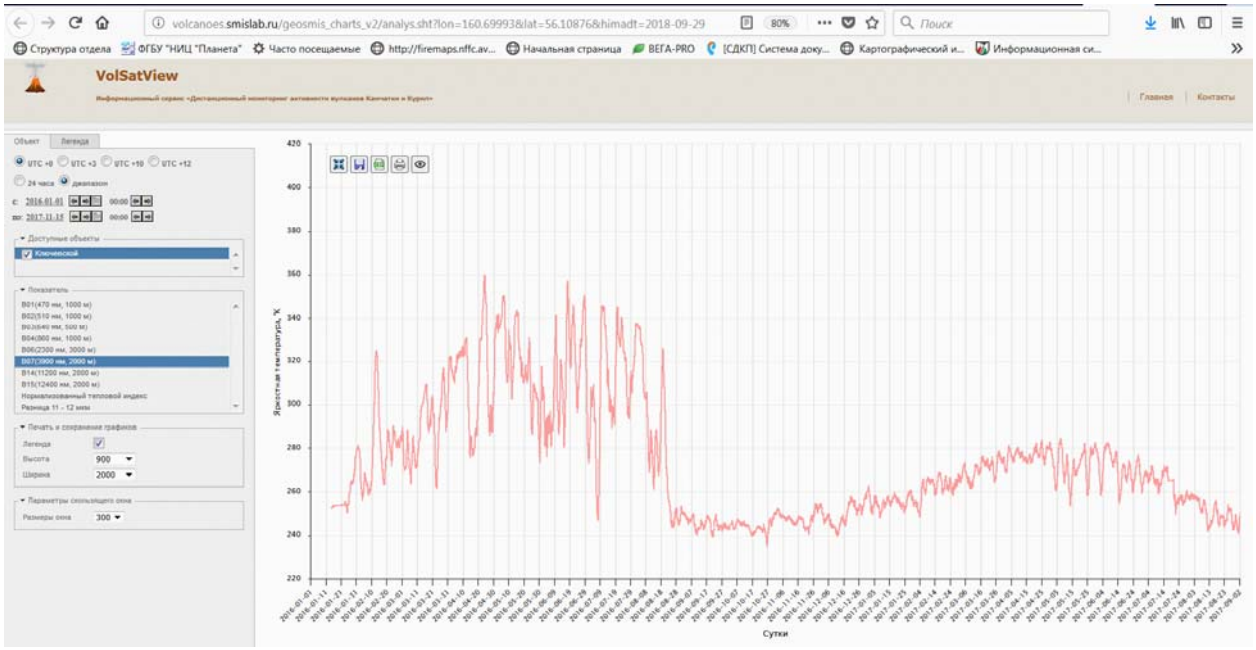


Рис. 1.3.3.1 - Динамика яркостной температуры в канале 3,9 мкм прибора AHI спутника Himawari-8 участка постоянных наблюдений на вулкане Ключевской, осредненная окном в двое суток за период с января 2016 г. по ноябрь 2017 г.

.

1.4 Поддержка и развитие специализированных спутниковых сервисов, ориентированных на решение различных научных задач. (пункт 4.1.4 плана работ на 2018 г.)

1.4.1 Развитие элементов технологий интеграции данных эксперимента "Ураган", выполняемого на МКС, в системы семейства «Вега-Созвездие»

На протяжении последних лет на борту 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.

Для обеспечения каталогизации данных этого эксперимента и возможности работы с ними в информационных системах семейства «Созвездие-ВЕГА» специалистами ИКИ РАН, РКК «Энергия» и Института географии РАН была создана технология получения, архивации и предоставления данных КЭ «Ураган».

На сегодняшний день продолжается работа по наполнению и поддержке созданных архивов оперативными и историческими данными экспериментов «Ураган» и «Сценарий» для их введения в научный оборот. В архивы ЦКП «ИКИ-Мониторинг» было помещено более 2500 сцен, полученных в ходе эксперимента «Ураган» по различным явлениям и объектам наблюдения. Карта распределения полученных данных приведена на рис. 1.4.1.1.

Данные содержат в том числе наблюдения природных пожаров и их последствий, разливов рек, вулканов, ледников, городской застройки, последствий антропогенного воздействия на экосистемы и многое другое. Пример интеграции данных КЭ «Ураган» в ИС «Вега-Science» приведён на рис. 1.4.1.2.

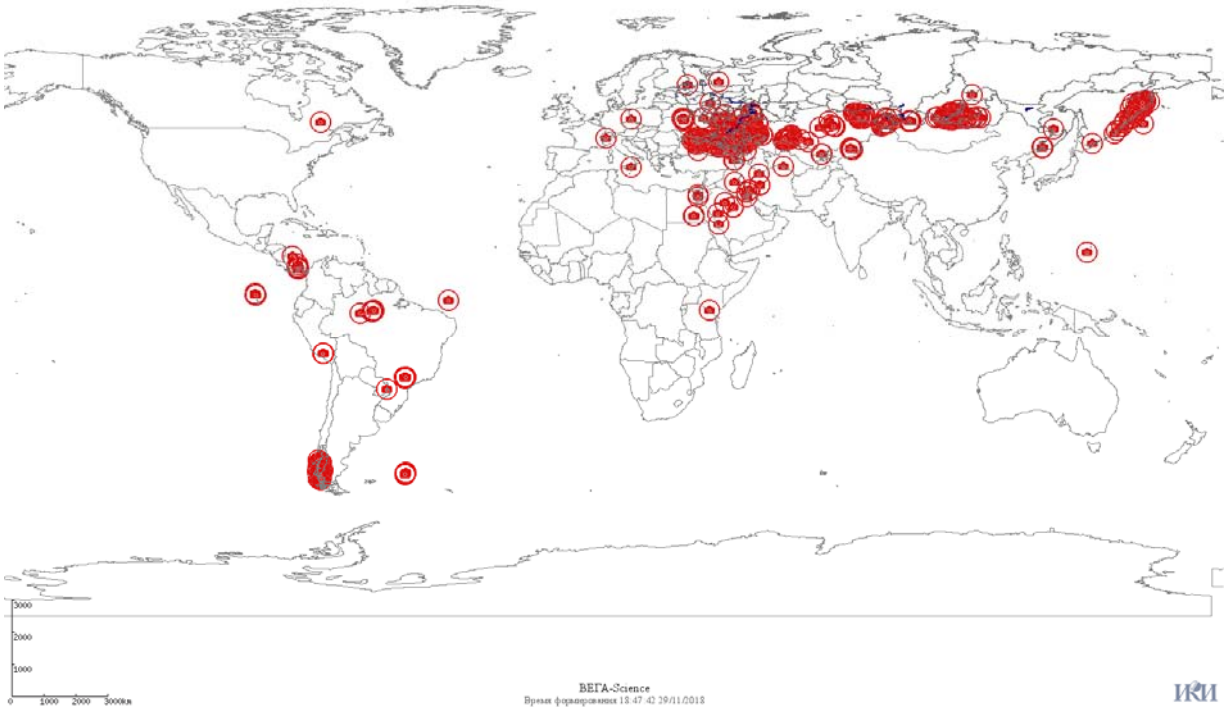


Рис. 1.4.1.1 - Карта распределения данных КЭ «Ураган» в архивах ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

Рис. 1.4.1.2 - Пожар в дельте Волги, 2017-10-12 11:06:56

Кроме того, активно расширяются возможности по использованию систем «Вега-Созвездие» для планирования проведения экспериментов на основе актуальных данных ДЗЗ с учётом их сезонности, а также возможностей по проведению съёмок. Разрабатываемые средства планирования экспериментов будут учитывать движение МКС, съёмочные возможности аппаратуры, прогнозные значения наличия облачности, условия освещённости Земли и бортовое время. Создаваемые средства планирования позволят проводить автоматизированный поиск информации об актуальных чрезвычайных ситуациях и природных явлениях в открытых источниках данных для выбора объектов съёмок и формировать радиограммы с целеуказаниями для космонавтов, проводящих

эксперименты. Архивы данных КЭ «Ураган» и их поддержка осуществляется на мощностях ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

1.4.2 Развитие информационной системы «Вега-Агрометеоролог»

"Вега-Агрометеоролог" — это информационная система для комплексного анализа данных агрометеорологического мониторинга. Разработанная с использованием технологии GEOSMIS, она обеспечивает удаленный доступ пользователей к распределенным архивам данных системы и интегрированным инструментам анализа.

В основе системы лежит регулярно обновляемый архив данных наземных наблюдений с агрометеостанций на всей территории России: как ежедекадные, так и ежесуточные. Продолжительность непрерывного архива таких данных составляет около 3 лет. В системе представлены модельные метеорологические данные на основе регулярной сетки: от исторических до прогнозных. Пользователям доступны данные спутниковых наблюдений среднего и высокого разрешения, полученные с метеорологических и природоресурсных КА, в том числе, измерения метеорологических величин, полученные по данным спутниковых наблюдений.

В 2018 году было продолжено накопление данных наблюдений с агрометеорологических станций, модельных и спутниковых метеоданных. При этом была усовершенствована система усвоения данных, что позволило в автоматическом режиме контролировать своевременность и поддерживать регулярность поступления данных, в том числе и поступающих в полуавтоматическом режиме.

Были усовершенствованы возможности визуализации агрометеорологических данных. Для информативной визуализации агрометеорологических данных разработаны специальные настраиваемые пользователем средства картографического отображения. Они используют как способ изолиний, так и способ значков, позволяющий локализовать в одной точке карты целую серию количественных показателей по выбору пользователя. Пример, визуализации различных параметров представляемых системой приведен на рис. 1.4.2.1

Реализована возможность анализа рядов данных как путем последовательного выбора для отображения одного из серии изображений и карт, так и путем построения временных профилей. Объектом исследования временной динамики могут быть: агрометеостанция (при анализе полученных на ней данных), отдельное сельскохозяйственное угодье (при анализе связанных с ним статистических данных), либо отдельная точка на карте (при анализе спутниковых и модельных метеоданных). Предусмотрено исследование как межсезонной, так и межгодовой динамики состояния растительности.

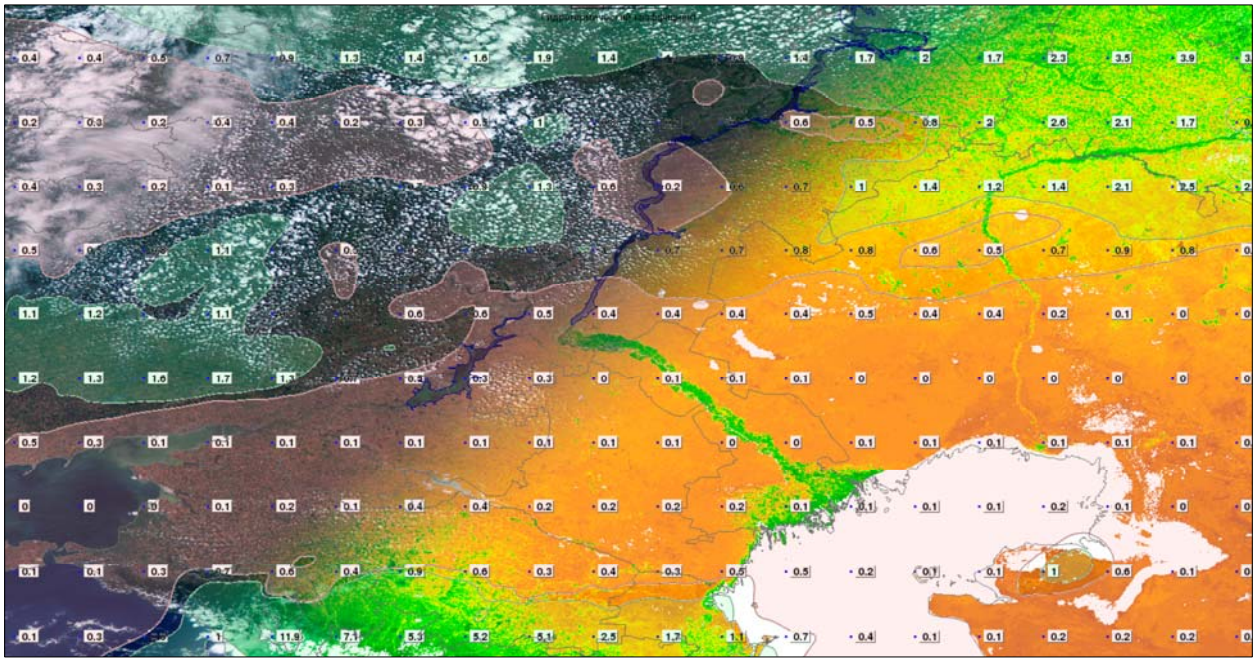


Рис. 1.4.2.1 - Наблюдения, полученные прибором MODIS (спутник AQUA), еженедельный безоблачный композит NDVI (14-16 июня 2018 года) и гидротермический коэффициент

1.4.3 Развитие информационной системы «Аврора-Арктика»

Система «Аврора-Арктика» разработана в ИКИ РАН и предназначена для обеспечения исследований ионосферы. Для этого реализована интеграция различных видов данных, в том числе: данных спутников серии DMSP, показателей наблюдения солнечного ветра по данным NOAA, прогнозов границ аврорального овала, метеорологических данных NCEP, данных дистанционного зондирования Земли.

Система обеспечивает интерактивный выбор данных всех видов на основе ряда критериев: временных, пространственных и качественных, визуализацию изображений с возможностью точной настройки вариантов цветосинтеза и яркостной коррекции, сопоставление данных, классификацию изображений, ведение баз данных пространственных объектов, введенных пользователем, отображение границ солнечной освещенности. Поддерживается преобразование координат между геомагнитной и географической системами, а также между различными картографическими проекциями.

В течение 2018 года проводилась тестовая эксплуатация системы, а также наращивались архивы данных прибора SUSSI (спутник DMSP F-18). Для этих данных реализовано два режима визуализации: в растровом и изолинейном виде. Обработка данных приведена в соответствие с разработанной в ИКИ РАН технологией UNISAT.

В систему были интегрированы изображения с наземных ("all-sky") камер. Серии такого рода изображений были получены на научных станциях в Апатитах (Полярный геофизический институт), Маймаге и Жиганске (Институт космофизических исследований и аэрономии). Они открывают возможность одновременного наблюдения авроральных явлений как со спутника, так и с поверхности Земли.

Проведена разработка подсистем хранения и визуализации для данных проекта AMPERE, получаемых на основе измерений с помощью спутников серии Iridium. Обеспечивается работа с данными о силе продольного тока, а также интенсивности и направления магнитного возмущения.

В картографический интерфейс системы «Аврора-Арктика» интегрирована визуализация расчетов солнечной освещенности поверхности Земли. Ее совместный анализ с данными моделей прогноза границ аврорального овала и метеорологическими

данными направлен, в том числе, на предсказание видимости полярных сияний. Пример представления данных в картографическом интерфейсе системы приведен на рис. 1.4.3.1

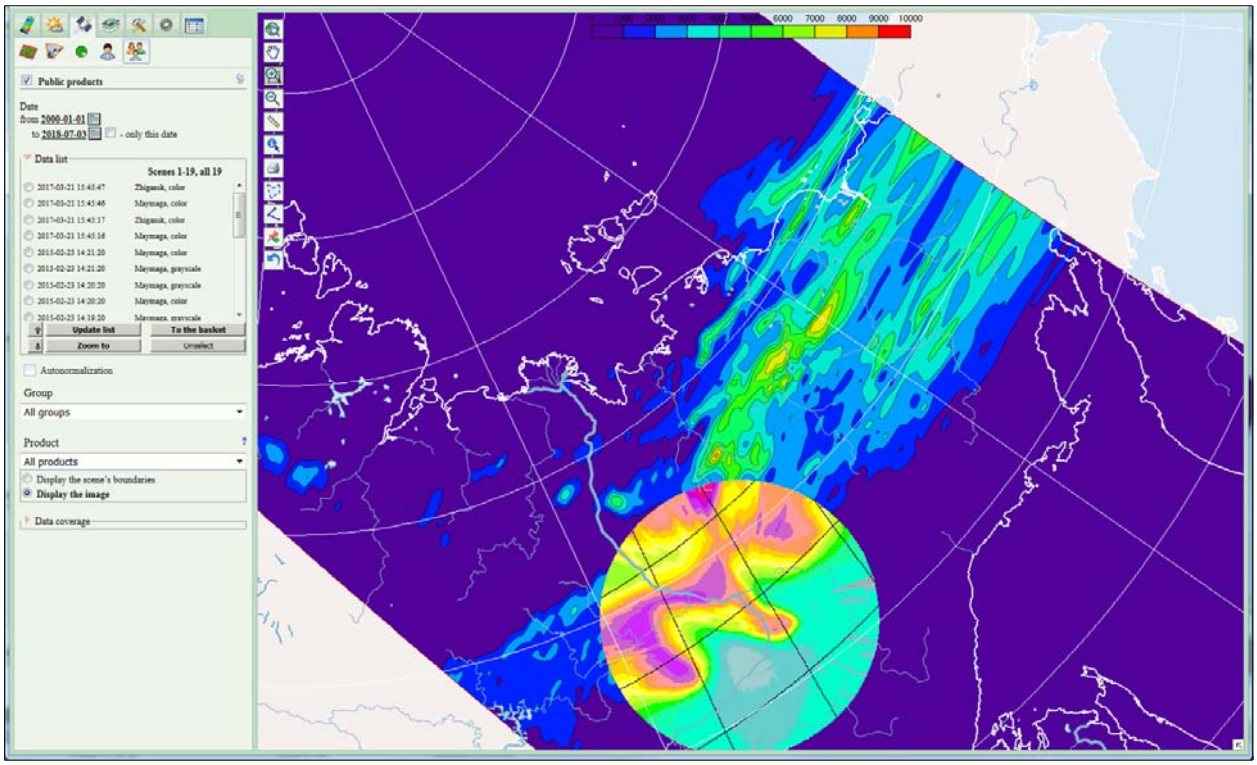


Рис. 1.4.3.1 - Наблюдение авроральных явлений 07.01.2015 на изображении DMSP F-18 SSUSI в канале 135.6 нм и наземной All-Sky-камере в Жиганске

1.4.4 Разработка информационных инструментов для эффективного дистанционного мониторинга результатов антропогенного воздействия на ареалы растений

В число актуальных задач исследования растительного покрова средствами спутникового мониторинга входят задачи раннего выявления, точной локализации и оперативного оценивания размеров участков, используемых для незаконного (противозаконного) растениеводства. Одним из путей решения этой задачи с помощью спутникового мониторинга является возможность анализировать динамику статистических распределений значений различных спектральных индексов и значений в отдельных спектральных каналах в пределах границ отдельных участков, на которых подозревается незаконное растениеводство. Для решения в том числе указанных задач была разработана возможность расчета статистической информации по данным ДЗЗ в границах любого указанного пользователем участка. Такая возможность предоставляется пользователям в виде специализированного web-инструмента, созданного на основе предложенной авторами из Института космических исследований РАН технологии, и позволяющей проводить обработку доступных в системе данных. На основе указанной технологии был разработан и внедрен в ИС "ВЕГА-Science" инструмент расчета статистической информации на поле по данным высокого (до 10 метров на пиксель) пространственного разрешения.

Необходимо отметить, что в ИС "ВЕГА-Science" ранее уже были доступны временные ряды вегетационных индексов состояния растительного покрова, полученные по спутниковым данным низкого (до 250 метров на пиксель) пространственного разрешения (прибор MODIS). Расчет такой информации проводится в автоматическом режиме и описан в работах. Как было показано в указанных работах, полученная информация используется для анализа процесса вегетации и позволяет прогнозировать

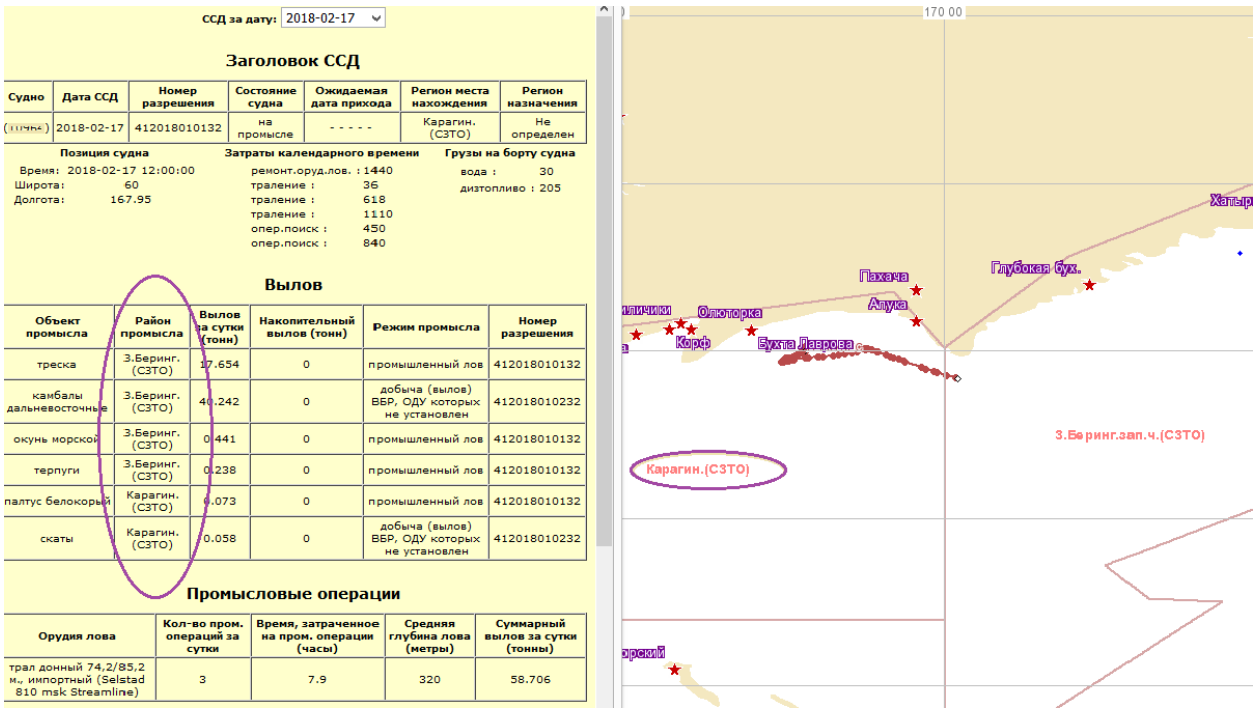
урожайность и оценивать состояние посевов как на отдельных полях, так и в масштабах регионов. Такая информация хорошо подходит для изучения особенностей землепользования на объектах большого размера, но не годится для целевых задач данной работы. Поскольку размеры исследуемых участков с культивированием незаконных растений невелики, то в данной случае применяются данные спутников серий Landsat и Sentinel-2 с пространственным разрешением в требуемых спектральных каналах 30 и 10 метров на пиксель соответственно.

Опишем здесь кратко схему организации обработки спутниковых данных этим инструментом. При выполнении процедуры обработки данные параллельно по всем выбранным сценам на запрошенную область готовятся с использованием только вычислительных мощностей центров архивации спутниковых данных. Дополнительно исключаются все облачные пиксели в соответствии с имеющейся в архивах по каждой сцене маской облачности и накладывается маска по целевым участкам. По всем выбранным сценам рассчитывается статистическая информация для каждого поля о распределении индекса NDVI и значений пикселей в отдельных спектральных каналах.
Рассчитываются следующие показатели распределения значений пикселей на каждом отдельном поле: минимальное, максимальное и среднее значения, общее число пикселей на поле, число пикселей на поле, участвующих в процедурах обработки и не являющихся значениями "нет данных", дисперсия, коэффициент вариации. Таким образом, может быть получена статистическая информация на основе всех доступных данных спутников Sentinel2 и Landsat за любой выбранный период по любому заданному участку.

1.4.5 Развитие методов снижения фальсификации отчетности промысловых судов с использованием современных средств дистанционного мониторинга

С использованием новых технических средств контроля, а также с помощью сопоставления треков с радарными спутниковыми снимками удалось кардинально снизить фальсификации позиционных спутниковых данных рыбопромысловых судов в отраслевой системе мониторинга Росрыболовства (ОСМ, http://cfmc.ru/osm/). Следующим шагом повышения достоверности информации в ОСМ является проверка корректности отчетов о вылове в судовых суточных донесениях (ССД). Для верификации вышеуказанных отчетов было предложено разработать методику определения обобщенных соотношений между выловом за сутки и временем, затраченным на траление за сутки (промысловое усилие) в зависимости от зоны промысла, вида водного биологического ресурса, типа судна и рыболовного сезона. Для реализации вышеуказанной методики разработан алгоритм автоматической классификации треков для выделения периодов траления судна. По результатам вышеуказанной автоматической классификации было выявлено значительное количество ССД, вызывающих сомнения. Например, вылов по отчетам был в Запально-Беринговоморской зоне, а трек судна за данные сутки без сомнений указывает, что траление производилось в Карагинской подзоне (см. рисунок 1.4.5.1). Также обнаружена значительная часть ССД, в которых не указан вылов, в то время как автоматическая классификация и последующее визуальное представление указывает, что судном совершались маневры, характерные для траления.

Предложенная методика выявления сомнительных ССД на основе автоматической классификации треков может быть использована для повышения корректности информации в ОСМ.



ССД за дату: 2018-02-17

Заголовок ССД

Судно	Дата ССД	Номер разрешения	Состояние судна	Ожидаемая дата прихода	Регион места нахождения	Регион назначения
[illegible]	2018-02-17	412018010132	на промысле	- - - - -	Карагин. (СЗТО)	Не определен

Позиция судна
Время: 2018-02-17 12:00:00
Широта: 60
Долгота: 167.95

Затраты календарного времени
ремонт.оруд.лов. : 1440
траление : 36
траление : 618
траление : 1110
опер.поиск : 450
опер.поиск : 840

Грузы на борту судна
вода : 30
дизтопливо : 205

Вылов

Объект промысла	Район промысла	Вылов за сутки (тонн)	Накопительный вылов (тонн)	Режим промысла	Номер разрешения
треска	З.Беринг. (СЗТО)	17.654	0	промышленный лов	412018010132
камбалы дальневосточные	З.Беринг. (СЗТО)	40.242	0	добыча (вылов) ВБР, ОДУ которых не установлен	412018010232
окунь морской	З.Беринг. (СЗТО)	0.441	0	промышленный лов	412018010132
терпуги	З.Беринг. (СЗТО)	0.238	0	промышленный лов	412018010132
палтус белокорый	Карагин. (СЗТО)	0.073	0	промышленный лов	412018010132
скаты	Карагин. (СЗТО)	0.058	0	добыча (вылов) ВБР, ОДУ которых не установлен	412018010232

Промысловые операции

Орудия лова	Кол-во пром. операций за сутки	Время, затраченное на пром. операции (часы)	Средняя глубина лова (метры)	Суммарный вылов за сутки (тонны)
трал донный 74,2/85,2 м., импортный (Selstad 810 msk Streamline)	3	7.9	320	58.706

Рис. 1.4.5.1 - Пример, комплексного анализа результатов отчетности судна о производимых операциях и информации о его позиционирование

1.5 Обеспечение постоянной работы и развитие Центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа данных спутниковых наблюдений Института космических исследований Российской академии наук для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») (пункт 4.1.5 плана работ на 2018 г.)

1.5.1 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.

Для решения многих исследовательских и прикладных задач, связанных с мониторингом природной среды и антропогенных объектов, необходим доступ к большим многолетним архивам спутниковых данных, различным информационным продуктам, получаемым на их основе, а также к вычислительным ресурсам, позволяющим проводить их анализ и обработку. При этом, в рамках реализации отдельных тематических проектов, создание эффективной и порой очень дорогостоящей инфраструктуры, обеспечивающей возможность работы с данными современных систем дистанционного наблюдения Земли, далеко не всегда возможно. В то же время современные технологии позволяют реализовывать принципиально новые возможности организации работы со спутниковой информацией, обеспечивающие эффективное коллективное использование достаточно дорогостоящих вычислительных ресурсов центров сбора, обработки и представления данных дистанционного зондирования. Именно на базе таких новых технологий и подходов в 2012 году создан Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа данных спутниковых наблюдений ИКИ РАН, предназначенный для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды - ЦКП «ИКИ-Мониторинг».

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» в настоящее время пользуются более 70 различных научных организаций, что 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.

Одним из ключевых преимуществ ЦКП «ИКИ-Мониторинг» является уникальное для отечественных ресурсов временное и пространственное покрытие. В 2018 году пространственное покрытие было расширено в основном за счета включения в него территории Индии. Таким образом, в настоящее время область покрытия регулярными спутниковыми данными, доступными через ЦКП «ИКИ-Мониторинг», составляет более 27% площади поверхности суши Земли. 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 2018 году налажено поступление в архивы данных новых российских спутников «Канопус-В» №3 и 4. Эти спутники снимают высококачественные черно-белые и многозональные изображения с пространственным разрешением 2,1 метра и 10,5 метров в надире, соответственно. Также налажено поступление в архивы данных российского спутника «Канопус-В-ИК». Спутник оборудован камерой, которая имеет разрешение в два метра в видимом диапазоне, а также оснащен широкозахватной инфракрасной аппаратурой с полосой захвата 2000 км, способной обнаружить очаги пожара размером пять на пять метров. На постоянной основе в архивы также поступать данные прибора VIIRS, получаемые с американского гидрометеорологического спутника JPSS-1,и данные приборов OLCI и SLSTR, установленных на новом европейском спутнике Sentinel-3A. Расширен был также и состав тематических продуктов, получаемых по имеющимся в архивах данных.

В 2018 году были продолжены работы по совершенствованию используемых нами для задач ЦКП «ИКИ-Мониторинг» технологий и программного обеспечения. Продолжены работы по совершенствованию программного обеспечения UNISAT, используемого для ведения сверхбольших распределенных архивов спутниковых данных. Разработаны новые инструменты для контроля за состоянием и поддержки бесперебойной работы распределенного файлового хранилища (см п.1.2.2 настоящего отчета).

В 2018 году также были проведены работы по модернизации и расширению используемой технической инфраструктуры. Используемое для хранения спутниковых данных дисковое пространство было расширено более чем на 280 Тб, также были задействованы 5 новых серверов для обработки спутниковых данных.

На текущий момент пользователям ЦКП "ИКИ-Мониторинг" доступны спутниковые данные, полученные с более чем 40 различных приборов наблюдения Земли, установленных как на российских, так и на зарубежных спутниках ДЗЗ. Наиболее ранние

данные в архиве датируются 1984 годом. К концу 2018 года суммарная скорость пополнения архивов, доступных пользователям ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (архивы ИКИ РАН и ФГБУ "НИЦ "Планета"), превышает 1.5 Тб/сутки, а объем информации, находящейся в непосредственном доступе, составляет около 2 Пб.

Все данные архивов ЦКП «ИКИ-Мониторинг» доступны в режиме непосредственного доступа в информационной системе ВЕГА-Science (sci-vega.ru). Информация о составе архивов спутниковых данных доступных пользователям ЦКП "ИКИ-Мониторинг" по состоянию на 29.11.2018 года приведена в Таблицах 1.5.1.1 и 1.5.1.2. 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, используемые для формирования доступных пользователям информационных продуктов.

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 1.5.1.1
Статистика наличия данных в архивах ЦКП "ИКИ-Мониторинг"

№	Прибор	Спутник	Диапазон дат		Кол-во	Размер, Гб
1	ASAR 12,5м	ENVISAT	2003-08-22	2011-07-31	626	62
2	ASAR 75м	ENVISAT	2004-08-23	2012-04-08	10 089	1 883
3	ASTER	TERRA	2015-06-05	2016-07-20	1 645	11
4	ASTERGDEM	TERRA	2011-02-28	2011-02-28	1	610
5	AVHRR	NOAA 18	2012-12-24	2018-11-08	59 054	978
6	C_SAR_EW	SENTINEL-1A	2014-10-03	2018-11-29	64 141	9 066
		SENTINEL-1B	2016-09-26	2018-11-29	32 750	5 555
7	C_SAR_IW	SENTINEL-1A	2014-10-03	2018-11-29	391 283	200 646
		SENTINEL-1B	2016-09-26	2018-11-29	249 616	117 446
8	DEIMOS	DEIMOS	2009-12-17	2015-05-08	427	36
9	ETM+	LANDSAT 7	1999-06-29	2018-11-27	2 639 399	149 469
10	ETM+ атм кор	LANDSAT 7	2014-01-30	2016-12-30	6 987	804
11	HYPERION	EO-1	2001-05-03	2016-08-07	15 000	4 745
12	КМСС-101	Метеор-М1	2011-12-09	2013-01-14	14 746	543
		Метеор-М2	2014-08-06	2018-07-24	16 118	1 410
13	КМСС-102	Метеор-М1	2011-12-09	2013-01-14	14 477	571
		Метеор-М2	2015-02-12	2016-12-09	22 568	1 940
14	MODIS	AQUA	2012-03-25	2018-11-29	1 319 139	57 945
		TERRA	2000-01-09	2018-11-29	1 361 287	69 036
15	MSI	SENTINEL-2A	2015-07-26	2018-11-28	1 948 985	587 697
		SENTINEL-2B	2017-06-30	2018-11-28	645 058	184 030
16	OLCI	SENTINEL-3A	2016-06-04	2018-11-19	15 916	912
17	OLI	LANDSAT 8	2013-04-01	2015-09-20	4 879	764
18	OLI атм кор	LANDSAT 8	2014-01-15	2017-09-02	57 258	9 980
19	OLI-TIRS	LANDSAT 8	2013-03-19	2018-11-27	1 805 722	290 218
20	ORBVIEW-3	ORBVIEW-3	2003-09-17	2007-03-04	79 761	20 656
21	ПСС	Канопус-В №3	2018-04-30	2018-07-18	266	15
		Канопус-В №4	2018-05-01	2018-07-19	260	15
22	SLSTR	SENTINEL-3A	2016-11-16	2018-11-28	91 806	506
24	SSUSI	DMSP	2016-01-01	2018-11-27	69 889	169
25	TM	LANDSAT 4	1987-06-29	1993-07-16	44 974	2 083
		LANDSAT 5	1984-03-06	2012-04-25	1 722 108	82 326
26	PROBA-V	PROBA-V	2014-03-12	2018-04-30	2 664	12 451
27	VIIRS	Suomi NPP	2012-07-02	2018-11-29	74 898	5 138

ИТОГО:	-	-	1984-03-06	2018-11-29	12 783 798	**1 819 778**

Таблица 1.5.1.2
Статистика наличия данных в архивах НИЦ "Планета"

№	Прибор	Спутник	Диапазон дат		Кол-во	Размер, Гб
1	AHI	HIMAWARI-8	2015-09-01	2018-11-29	865 035	20 808
2	AVHRR	NOAA 15	2011-12-22	2018-04-17	52 369	687
		NOAA 16	2011-10-28	2014-06-06	47 619	856
		NOAA 18	2011-09-20	2018-11-29	254 406	4 645
		NOAA 19	2011-11-24	2018-11-29	218 006	4 009
3	Геотон-П	Ресурс-П №1	2014-06-24	2018-02-14	556	182
		Ресурс-П №2	2015-03-23	2017-12-20	465	153
		Ресурс-П №3	2016-05-26	2017-02-06	442	189
4	Imager	GOES-E	2013-05-23	2018-04-28	45 698	1 141
		GOES-W	2013-05-23	2018-04-28	64 405	692
		MTSAT 2	2013-05-23	2015-12-04	30 501	534
5	КМСС-101	Метеор-М1	2011-10-01	2014-09-23	35 257	1 474
		Метеор-М2	2014-09-17	2018-11-28	332 750	32 828
6	КМСС-102	Метеор-М1	2011-10-01	2014-09-23	38 535	2 079
		Метеор-М2	2014-09-17	2018-11-28	328 963	34 930
7	КМСС-50	Метеор-М2	2016-04-10	2016-04-19	900	37
8	MODIS	AQUA	2011-10-16	2018-11-29	645 390	32 138
		TERRA	2011-10-11	2018-11-29	642 668	34 209
9	МСС	Канопус-В	2011-12-30	2018-11-26	39 897	613
10	МСУ-ГС	ELECTRO-L-1	2013-10-31	2016-07-12	17 851	580
		ELECTRO-L-2	2016-04-14	2018-11-29	141 067	1 034
11	МСУ-ИК-СРМ	Канопус-В-ИК	2017-08-08	2018-11-27	3 487	739
12	МСУ-МР	Метеор-М1	2014-03-07	2014-12-12	10 319	162
		Метеор-М2	2014-07-31	2018-11-29	1 518 568	40 532
13	MVIRI	METEOSAT 7	2013-05-23	2017-03-31	107 601	2 193
14	ПСС	Канопус-В	2011-12-30	2018-11-24	35 855	2 317
		Канопус-В-ИК	2013-10-06	2018-09-25	248	15
15	SEVIRI	METEOSAT 10	2017-10-04	2018-11-29	106 844	1 481
		METEOSAT 8	2017-07-01	2018-11-29	106 395	1 465
		MSG	2013-05-23	2018-04-28	168 620	8 968
16	КШМСА-СР	Ресурс-П №2	2015-03-17	2016-12-18	50	13

17	КШМСА-ВР	Ресурс-П №1	2014-04-01	2018-07-09	1 102	536
		Ресурс-П №2	2015-03-17	2017-12-15	606	165
		Ресурс-П №3	2016-05-11	2017-02-11	216	42
18	VIIRS	JPSS1 (NOAA 20)	2018-01-10	2018-11-28	23 416	1 491
		Suomi NPP	2013-02-27	2018-11-28	212 159	14 517
ИТОГО:	-	-	2011-09-20	2018-11-29	6 098 266	**248 454**

1.5.2. Поддержа и развитие информационной системы распределенной работы с данными дистанционного мониторинга Вега-Science

ВЕГА-Science (http://sci-vega.ru/) - уникальная научная установка, входящая в состав Центра коллективного пользования ЦКП "ИКИ-Мониторинг", предназначенного для решения научных задач изучения и мониторинга окружающей среды с использованием методов и технологий спутникового дистанционного зондирования. "ВЕГА-Science" предоставляет распределенный доступ к многолетним ежедневно пополняющимся архивам спутниковых данных и получаемым на их основе различным информационным продуктам, в первую очередь ориентированным на изучение и анализ состояния растительного покрова. "ВЕГА-Science" также предоставляет пользователям возможности по проведению удаленной обработки и анализа спутниковых данных и результатов их обработки с использованием вычислительных ресурсов ЦКП "ИКИ-Мониторинг".

В основу сервиса положены многолетние архивы спутниковых данных и получаемые на их основе информационные продукты, характеризующие состоянии растительного покрова Северной Евразии, включая Россию и близлежащие страны. По любому району этой территории в архивах имеются данные с начала двадцать первого столетия.

В 2018 году был существенно расширен список информационных продуктов, доступных пользователям сервиса. Теперь им доступен целый ряд новых инфомрационных продуктов по данным высокого разрешения новых российских спутников «Канопус-В» №3, 4 и «Канопус-В-ИК». В список доступных продуктов также были добавлены данные прибора VIIRS, получаемые с нового американского гидрометеорологического спутника JPSS-1 и данные приборов OLCI, SLSTR, установленных на европейском спутнике Sentinel-3A.

В 2018 году была существенно расширена функциональность предоставляемых пользователям инструментов для анализа и обработки спутниковых данных, работающих как в синхронном, так и в асинхронном режимах. В синхронном режиме пользователь получает результат проведенных им операций с небольшой временной задержкой, а в асинхронном – задание на обработку поступает в очередь на выполнение, а пользователь получает результаты по мере их готовности. В частности, были реализованы следующие новые возможности сервисов доступа к данным: механизм построения гистограмм, автоматическое детектирование вырубок и структурный анализ изображений (линеаментный анализ).

За минувший год также были расширены вычислительные мощности, используемые для работы сервиса «Вега-Science». В частности, были введены в строй два новых сервера, используемые для формирования спутниковых информационных продуктов по запросу пользователей.

1.5.3 Поддержка и развитие специализированных спутниковых сервисов, ориентированных на решение различных научных задач .

Инфраструктура и архивы данных, накопленных в ЦКП «ИКИ-Мониторинг», в 2018 году обеспечили возможность работы более 12 различных специализированных информационных систем научных проектов:

- Информационная система "Аврора-Арктика" (http://dev.aurora.geosmis.ru/), разработанная в ИКИ РАН и введенная в опытную эксплуатацию в 2017 году. Система ориентирована на работу с данными наблюдений ионосферы Земли, полученных со спутников серии DMSP, показателями наблюдения солнечного ветра по данным NOAA, метеорологических данных, а также с данными спутниковых наблюдений в оптическом диапазоне, полученными различными системами (MODIS, AVHRR и др.) и прогностической информацией о границах авроральных овала. Более подробно задачи и текущие возможности системы описаны в разделе 1.4.3 настоящего отчета.
- Для распределенной работы с данными, получаемыми различными научными миссиями, связанными с исследованием Марса, в 2017 году с использованием технических и технологических возможностей ЦКП "ИКИ-Мониторинг" в ИКИ РАН была создана специализированная информационная система ARES – Analysis, Research and Exploration Service. При построении системы использовались методы и схемы работы со сверхбольшими архивами данных, использующиеся в ЦКП "ИКИ Мониторинг". Это позволит применить существующие наработки и подходы для работы с пространственными данными дистанционного зондирования Земли и их анализа для организации эффективной работы с данными действующих и перспективных научных миссий по исследованию Марса.
- 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 проектов связанных с развитием методов и технологий глобальной системы мониторинга сельского хозяйства.
- 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. Работам по этой тематике посвящен п. 3.2.2 настоящего отчета.
- 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.
- и д.р.

В 2018 году с использованием возможностей ЦКП "ИКИ-Мониторинг" в интересах различных проектов и исследовательских организаций были созданы новые информационные системы такие как:

- ИС Аналитик ДЗЗ ЕФИС ЗСН «ИКИ-Мониторинг» является частью Единой информационной системы земель сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН). ЕФИС ЗСН предназначена для обеспечения Минсельхоза РФ и подведомственных ему учреждений и организаций актуальной и достоверной информацией о землях сельскохозяйственного назначения и землях, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий, в том числе данными о местоположении, состоянии и фактическом использовании таких земель и состоянии сельскохозяйственной растительности. Аналитик ДЗЗ ЕФИС ЗСН разрабатывался и развивается ООО "ИКИЗ", ИКИ РАН, ООО «Ант», Аналитический центра МСХ РФ.
- Система единого геоинформационного хранилища пространственных данных «Теллура», разрабатываемая в интересах ОАО «РЖД». Система предназначена для обеспечения регулярного спутникового мониторинга природных и техногенных процессов на прилегающей к железнодорожной инфраструктуре территории, представляющих потенциальную опасность ведению хозяйственной деятельности ОАО «РЖД» с целью снижения рисков разрушительных воздействий и минимизации ущерба. Целью создания системы является повышение эффективности деятельности ОАО «РЖД», а также повышения качества и безопасности перевозок за счет обеспечения оперативной выработки причастными службами ОАО «РЖД» обоснованных управленческих решений для снижения затрат на проектирование, строительство и эксплуатацию объектов железнодорожной инфраструктуры, обеспечение безопасности перевозок, обеспечение транспортной безопасности, предотвращения несанкционированного использования объектов земельно-имущественного комплекса, а также для снижения ущерба при ЧС и предотвращения негативных воздействий на окружающую среду.

Отметим, что ЦКП «ИКИ-Мониторинг» в настоящее время предоставляет возможности работы со спутниковыми данными результатами их обработки более чем 70 научным организациям и проектам. 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 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).

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. В 2018 году технологии и методы работы со спутниковыми данными ДЗЗ внедрялись, например, в:

- Информационную систему 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.

- Отраслевую информационную систему мониторинга Федерального агентства рыбного хозяйства (ОСМ Росрыболовства) (http://osm.smislab.ru/), ориентированную 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.
- Информационную систему «Вега-Агрометеоролог» (http://agrometeo.geosmis.ru), предназначенную для комплексного агрометеорологического мониторинга, которая разрабатывается ИКИ РАН совместно с Гидрометцентром России, ФГБУ «НИЦ «Планета» и ВНИИСХМ. Система предназначена для обеспечения экспертов инструментами совместного анализа регулярной спутниковой информации и данных наземных наблюдений по всей территории сельскохозяйственных земель России с учетом агроклиматического районирования. Подробнее о ее возможностях написано в пункте 1.4.2. настоящего отчета.
- Информационную систему "ВЕГА-Приморье" (http://primorsky.geosmis.ru/) разработанную и поддерживаемую АНО "Общество дикой природы", ООО "ИКИЗ" и ИКИ РАН для ведения комплексного космического 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 технологий автоматизированной работы с данными спутниковых наблюдений для решения задач дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель и посевов на больших территориях.
- разработка и обоснование концепции создания специализированных информационных сред комплексного решения задач развития и поддержки современных информационных систем дистанционного мониторинга.
- разработка и внедрение в различные специализированные информационные системы новых инструментов работы с данными, позволяющих использовать распределенные вычислительные ресурсы, в том числе инструменты линеаментного анализа.
- 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 70 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

Раздел «Мониторинг-Биосфера» посвящен вопросам, связанным с изучением растительного покрова на основе методов и технологий обработки информации, поступающей со спутниковых приборов. Растительный покров, как неотъемлемая часть биосферы планеты, характеризуется нарастающими процессами деградации и трансформации, вызванными антропогенным воздействием и климатическими изменениями. Единственным способом получения актуальных данных о растительном покрове в масштабах России остаются методы дистанционного зондирования Земли. Применение указанных методов позволяет получать информацию о пространственном распределении и динамике растительного покрова России.

К отличительным чертам выполняемых в данном направлении исследований и разработок можно отнести следующие, во многом взаимосвязанные, особенности:

- высокий уровень автоматизации обработки спутниковых данных, предполагающий минимальное участие человека;
- адаптивность разрабатываемых алгоритмов обработки данных для обеспечения возможности их использования без дополнительной настройки параметров в широком диапазоне условий спутниковых наблюдений;
- возможность эффективного использования разрабатываемых методов (в частности, как следствие вышеуказанных особенностей) на больших территориях, в том числе на уровнях национального и континентального;
- интенсивное использование временных рядов данных многоспектральных спутниковых наблюдений и комплексирование данных различного пространственного разрешения (от десятков метров до километров).

Выполненные исследования в области спутникового картографирования растительного покрова были, прежде всего, сфокусированы на следующих основных направлениях:

- Развитие методов обработки спутниковых данных для формирования долговременных рядов спутниковых данных;
- Разработка метода локально-адаптивного построения эталонов динамики сельскохозяйственных культур по данным ДЗЗ;
- Развитие метода дистанционной оценки индекса листовой поверхности растительного покрова по данным MODIS;
- Исследование возможностей долгосрочного мониторинга поврежденных пожарами лесов и использования зимних спутниковых изображений для оценки последствий воздействия пожаров на леса;
- Разработка методологии для статистической модели фенологических изменений растительного покрова северных широт России;
- Актуализация многолетних временных рядов различных характеристик состояния наземных экосистем и их интеграция в составе единой базы данных;
- Анализ динамики лесных экосистем России на основе временных рядов тематических спутниковых продуктов.

Подробно полученные в данном направлении результаты изложены в следующих научных публикациях [1, 2, 4, 39, 41, 42, 45, 50-53, 61, 62, 107, 124, 126, 132, 156-159, 163, 165-169, 171, 175, 179, 183, 184].

2.1 Развитие методов формирования долговременных рядов спутниковых наблюдений земного покрова на основе мултьтисенсорных данных дистанционного

зондирования для решения задач долгосрочного мониторинга биосферы (пункт 4.2.1 плана работ на 2018 г.)

2.1.1 Метод обработки данных Sentinel 1A

Европейский спутник дистанционного зондирования Земли Sentinel 1A, который входит в систему глобального мониторинга окружающей среды и безопасности “Copernicus”, обеспечивает всепогодное наблюдение земной поверхности. Съемка выполняется регулярно в С-диапазоне (длина волны 6 см) с 2015 года. После обработки данных, полученных в различных режимах, предоставляются продукты нескольких уровней пространственного разрешения. В настоящее время это уникальный инструмент, предоставляющий радарные изображения на постоянной основе.

В Институте космических исследований РАН разработан метод, позволяющий на основе изображений, представляющих измерения с использованием двух поляризаций VV (Дб) и HV(Дб), с пространственным разрешением 10м получить временной ряд радарного индекса RVI, чувствительного к изменениям, вызванным ростом растительности. Также предложено трансформирование радарного индекса RVI в виде, сопоставимом с вегетационным ходом классического вегетационного индекса NDVI. Аналогом NDVI можно считать индекс NRVI = 1 – (RVI-1)/(RVI+1), где RVI = 10^(0,1*(VV-HV)). К основным преимуществам радарного индекса NRVI, полученного по данным Sentinel 1A, можно отнести высокую чувствительность к изменению влажности почвы, что можно интерпретировать, как выпадение осадков или осуществление полива сельскохозяйственных полей. Наблюдение таких эффектов напрямую с использованием классического индекса NDVI, полученного по данным оптического диапазона невозможно.

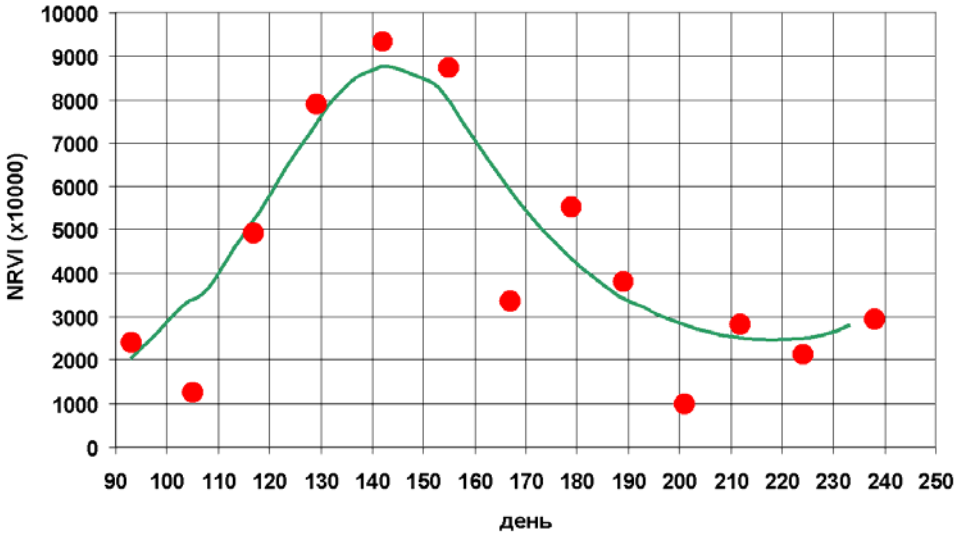


Рисунок 2.1.1.1. Исходные данные и восстановленный временной ряд индекса NRVI

В исходном виде временной ряд каждого отдельного пиксела радарного индекса NRVI может быть сильно зашумлен. Это связано с чувствительностью данных к осадкам, выпадающим на рассматриваемой территории. Поэтому также был разработан метод фильтрации и аппроксимации аномальных изменений, происходящих в каждом отдельном пикселе во временном ряде значений. Предварительно обработанные измерения поступают на вход процедуры полиномиального сглаживания и аппроксимации временных рядов данных, которая позволяет проецировать ряд измерений на регулярную ежедневную временную шкалу.

Такой подход к использованию радарных данных Sentinel-1 открывает возможность распознавать различные типы сельскохозяйственных культур на основе их временных профилей попиксельных значений индекса NRVI.

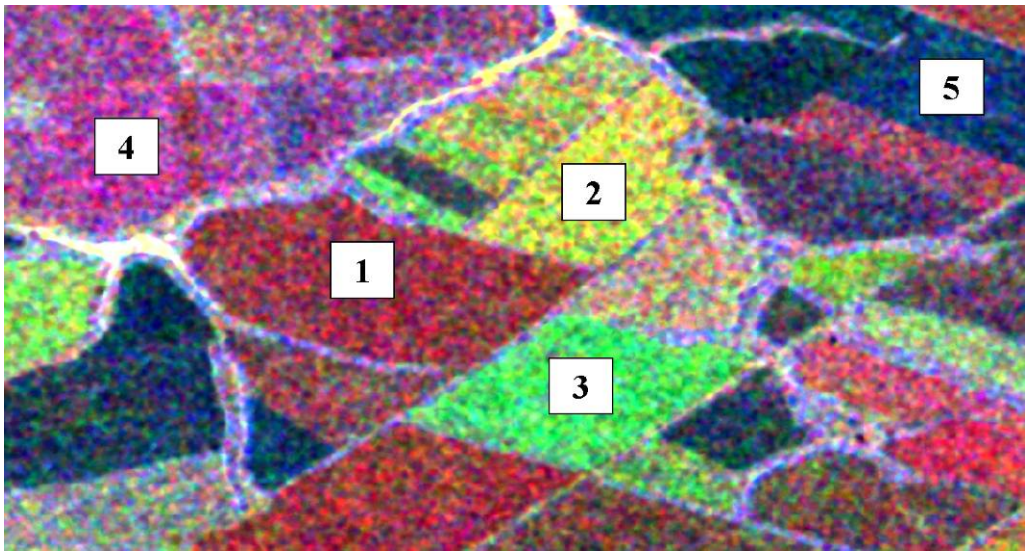


Рисунок 2.1.1.2. Псевдоцветные изображение, построенное на основе восстановленных разновременных значений индекса NRVI по данным Sentinel-1A, с характерными участками полей, занятых различными сельскохозяйственными культурами

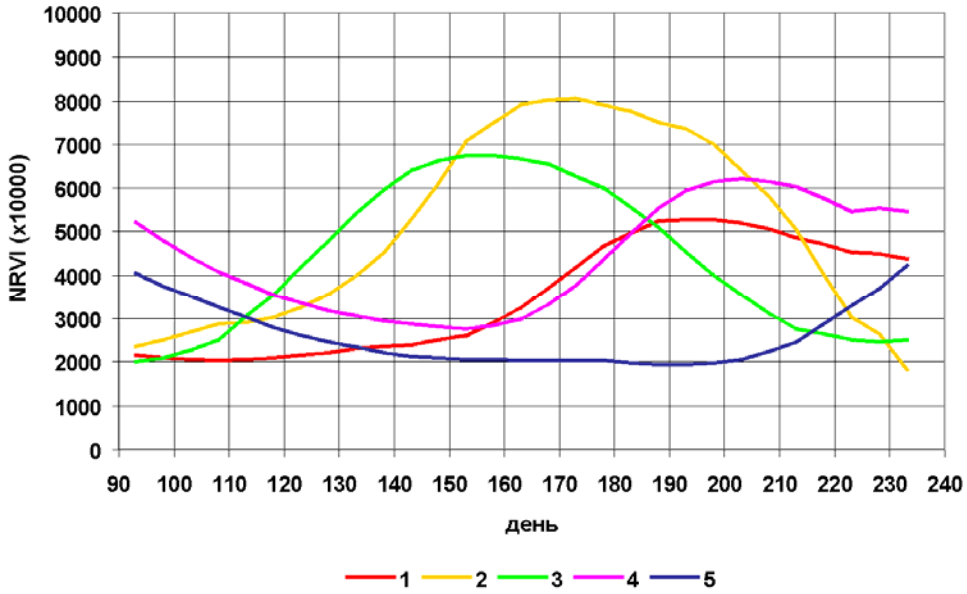


Рисунок 2.1.1.3. Временные профили радарного индекса NRVI характерных участков полей, занятых различными сельскохозяйственными культурами

2.1.2 Развитие метода обработки данных Terra-MODIS

Архив данных Terra-MODIS с пространственным разрешением 230/460м, который поддерживается в ИКИ РАН с 2000 года по настоящее время, является уникальным инструментом, применимым для широкого спектра задач дистанционного зондирования Земли. Ряд каналов видимого и ближнего ИК диапазона длин волн и ежедневная частота наблюдений позволяют осуществлять постоянный мониторинг растительного покрова. Однако используемый диапазон длин волн сильно подвержен влиянию облачности, закрывающей земную поверхность, и прочим мешающим факторам. Широко распространенные пороговые алгоритмы маскирования при распространении на большие территории наблюдения не учитывают локальных особенностей и в результате либо излишне чувствительны к снежному и облачному покрову, либо допускают значительное влияние шумов на измерения. Кроме того при пороговом подходе к нельзя однозначно

разделить снежный покров и облачность. Поэтому в целях развития возможнжностей предварительной обработки данных спутниковых наблюдений был разработан метод маскирования, базирующийся на предшествующих рассматриваемому наблюдениях, как на обучающей выборке классов, которые мы можем наблюдать. Это снег, несколько видов облачности, тени от облаков, вода, открытая земная поверхность летом и в зимний период. Начальные заданные допустимые значения яркостей, присущих каждому отдельному участку поверхности корректируются локально на основе предыстории наблюдений.

С использованием предложенного метода был улучшен временной ряд композитных изображений зимнего периода наблюдений с 2002 по 2018 годы на территорию России, отражающий состояние снежного покрова. Отделение снежного покрова от облачности в зимний период для таких данных особенно важно, поскольку зимние композитные изображения отражают состояние лесов и используются для оценки запасов стволовой древесины.

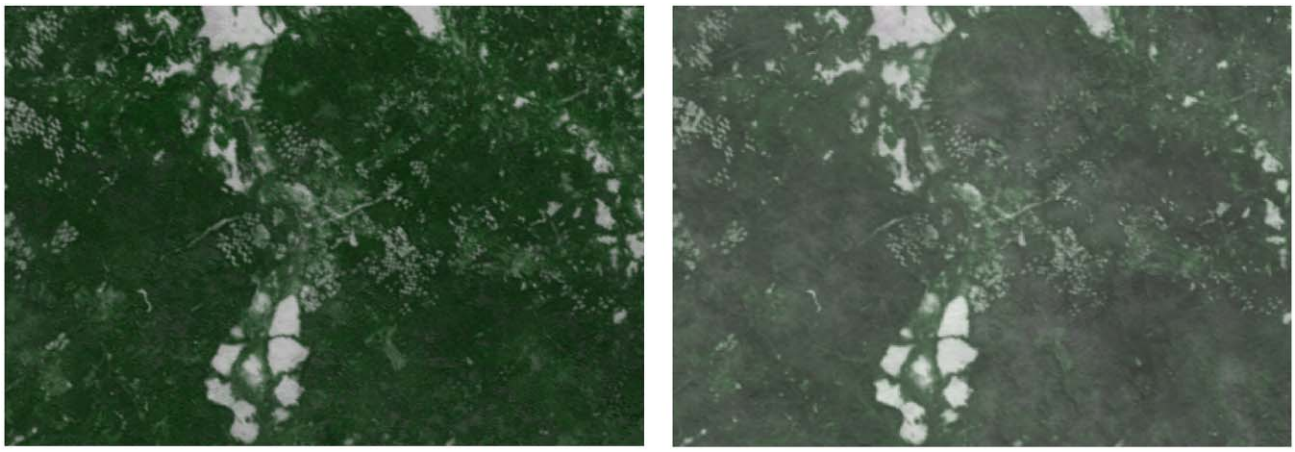


Рисунок 2.1.2.1. Зимнее композитное изображение (слева), построенное с использованием метода адаптивной фильтрации шумов, и результат работы предшествующего порогового подхода (справа) с остаточным влиянием облачности на лесных участках

2.2 Развитие методов локально-адаптивной классификации типов и оценивания количественных характеристик земного покрова для решения задач динамического картографирования биосферы на основе временных рядов данных дистанционного зондирования (пункт 4.2.2 плана работ на 2018 г.)

Исследования и разработки в рамках данного раздела темы в 2018 году были направлены на создание метода локально-адаптивного построения эталонов динамики сельскохозяйственных культур по данным ДЗЗ с использованием входных данных о сельскохозяйственных полях, включающих информацию о культуре, обладающих значительным уровнем ошибки.

Метод основан на нахождении характерной локальной динамики сельскохозяйственных культур – эталонов – на основе имеющегося в наличии массива наземных данных и информации спутникового мониторинга. Эталоны в дальнейшем могут быть использованы для верификации имеющихся данных и определения полей, для которых наземные данные указаны некорректно.

Построение эталонов динамики сельскохозяйственных культур осуществляется на локальном уровне для каждого муниципального района территории России. Для построения эталона сельскохозяйственной культуры используются все засеянные ею поля в границах района. Требование статистической репрезентативности привело к введению минимально допустимого числа полей для построения эталона, равного 300. Если число таких полей менее 300, то к ним добавляются ближайшие поля из других районов.

Максимальный радиус агрегации полей составляет 300 км, если число полей в этом радиусе остается меньше 300, то эталон для данного района не строится.
Для выделения типичной динамики культуры выполняется кластеризация временных рядов NDVI всех полей. Метод k-средних позволяет выделить характерные сценарии изменения вегетационного индекса в течение сезона. Наличие нескольких характерных кривых динамики NDVI объясняется наличием погрешностей в данных. На рисунке 2.2.1 приведен пример кластеризации для полей «озимой пшеницы», на котором видно 4 характерных типа динамики NDVI: озимые (кластер 1), ранние (кластер 2) и поздние (кластер 3) яровые, а также угнетенные посевы (кластер 4).

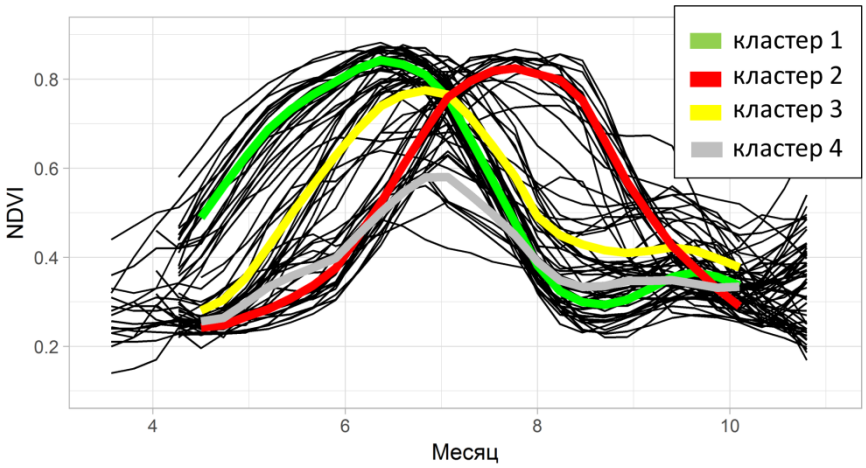


Рисунок 2.2.1. Пример временных рядов NDVI и средних значений кластеров, полученных методом к-средних, для полей озимой пшеницы Горшеченского района Курской области, 2017 год

Для определения оптимального числа кластеров используется критерий, основанный на расстоянии между средними значениями NDVI каждого кластера, и вычисляемый по формуле:

$$D = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|NDVI_i^1 - NDVI_i^2\right|$$

Где i – номер недели, $NDVI_i^{1-2}$ - значения индекса в одну неделю для разных кластеров. Расстояние считается попарно для всех возможных комбинаций кластеров, затем выбирается наименьшее из них. В случае если минимальное расстояние оказывается ниже порога в 0,1, то считается, что кластеры слишком похожи и кластеризация избыточна. Таким образом, кластеризация выполняется итеративно, начиная с варианта с 1 кластером и последовательно увеличивая их число на 1. При нарушении порога итерация заканчивается и используется последний адекватный вариант кластеризации, для которого минимальное расстояние выше порога.
Предполагается, что в большинстве районов погрешности данных характерны только для малой части всех полей района. Поэтому считается, что кластер, которому принадлежит наибольшее число полей, в большинстве случаев отражает истинную динамику культуры. На основе полей выбранного кластера рассчитывается локальный эталон данной культуры - многомерное нормальное распределение, в котором каждый элемент – это недельное значение NDVI.
Также на основе полей данного кластера можно оценить их типичный уровень однородности. Для этого для каждого поля оценивается вариация индекса NDVI в его границах для каждой недели. Эта вариация осредняется по всем полям и по всем неделям для получения характерного локального значения неоднородности.
В отдельных районах количество полей с неверно указанной культурой может превышать число полей с корректной культурой. В этом случае описанный выше подход может привести к построению эталона, характеризующего другую культуру. Если регионы с некорректными эталонами изолированы (то есть погрешности не преобладают на

значительной части территории страны), то их можно выявить с помощью анализа эталонов близлежащих районов. Анализ эталонов происходит с помощью расстояния Бхаттачария, вычисляемого по формуле:

$$D = \frac{1}{8}(\mu_1 - \mu_2)\Sigma^{-1}(\mu_1 - \mu_2)^T + \frac{1}{2} ln\left(\frac{det\,\Sigma}{det\,\Sigma_1\,det\,\Sigma_1}\right),$$

где $\Sigma = \Sigma_1 + \Sigma_2$, а $\mu_1, \mu_2, \Sigma_1, \Sigma_2$ – средние и ковариации нормального распределения.

Если расстояние ниже эмпирически подобранного порога 3, то считается, что эталоны неразличимы. Если эталон неотличим от большинства эталонов в ближайших районах, то можно предположить, что он адекватно характеризует динамику заданной культуры.

Эталон каждого района сравнивается с эталонами данной культуры других районов в окрестности радиуса 150 км. Берется 10 таких эталонов, для каждого из них оценивается его вес – число полей данной культуры в районе, деленое на минимальный размер выборки – 300. Если вес превышает 1, то его значение заменяется на 1. С помощью представленного ранее критерия оценивается, отличим ли эталон текущего района от эталонов соседних районов. Если текущий эталон неотличим от 66% всех эталонов (процент оценивается по их весам), то считается, что достигнут консенсус, и текущий эталон признается корректным. В противном случае анализ неразличимости выполняется для всех остальных эталонов, начиная с ближайшего. Если для одного из них достигается консенсус, то эталон текущего региона заменяется на консенсусный эталон. Если консенсуса не удается достичь, то в список районов добавляется еще один близлежащий район из окрестности 150 км и поиск консенсуса повторяется. Если после перебора всех районов консенсус не был достигнут, то эталон также остается без изменений.

Полученные описанным выше методом локально-адаптивные эталоны разных культур могут использоваться для верификации наземных данных о полях. В случае, если в районе отсутствует эталон данной культуры, верификация не может быть выполнена ввиду отсутствия статистики (не менее 300 полей данной культуры в ближайшей окрестности).

Также верификацию не проходят неоднородные поля. Для оценки однородности поля берется средняя пространственная вариация индекса NDVI в его границах. Поле считается однородным в случае, если медианная вариация вегетационного индекса на нем ниже, чем локальное пороговое значение, оцененное ранее на основе анализа эталонных полей. В противном случае поле считается неоднородным (предположительно частично засеянным другими культурами, подвержено эрозии, не относится к пашне и.т.д.), и не проходит верификацию.

Для проверки принадлежности поля к культуре вычисляется расстояние Махаланобиса между временным рядом NDVI и соответствующим эталоном по формуле $D = \sqrt{(x-\mu)\Sigma^{-1}(x-\mu)^T}$.

Известно, что для нормального распределения расстояние Махаланобиса распределено по закону хи-квадрат. Таким образом, используя кумулятивную функцию плотности вероятности хи-квадрат, можно задать порог на расстояние Махаланобиса, в котором лежит определенный процент полей, относящихся к заданному эталону. Эмпирически был выбран порог в 90%, если расстояние выходит за это значение, то поле считается выбросом и не проходит верификацию.

Для остальных полей происходит их сравнение с эталонами всех культур, за исключением культур, для которых характерны большие вариации в их поведении, например неиспользуемые земли, пары, многолетние травы, зерносмеси, смеси культур, залежи, пастбища, плодово-ягодные насаждения. Если ближайший к текущему полю эталон соответствует текущей культуре (или неотличим от эталона данной культуры), то поле считается прошедшим верификацию. Пример результатов верификации приведен на рисунке 2.2.2.

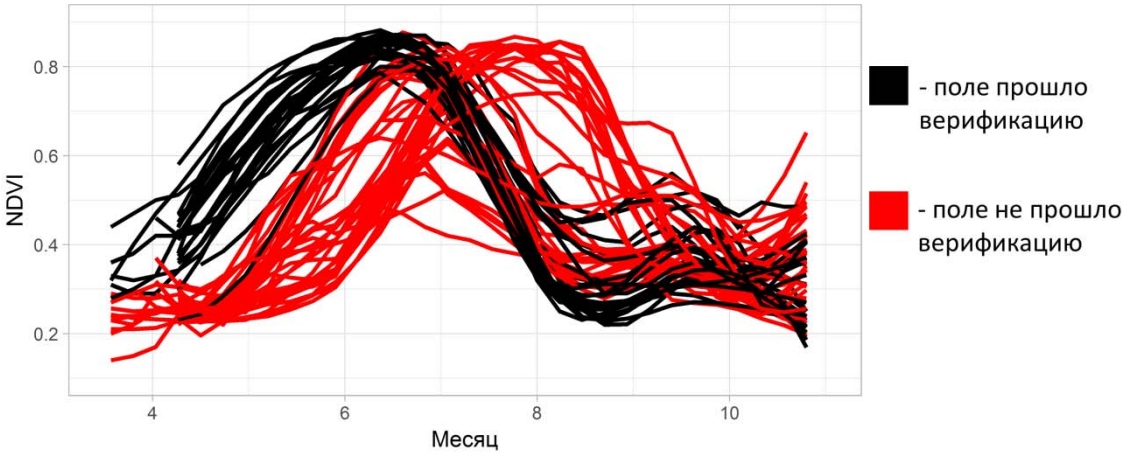


Рисунок 2.2.2 Пример результатов верификации, для полей озимой пшеницы Горшеченского района Курской области, 2017 год

Построение эталонов и выполнение верификации было выполнено на основе данных 2017-18 годов. Всего было обработано свыше 400000 полей. По результатам верификации 300000 полей прошло верификацию, 20000 не прошло верификацию из-за малого объема статистики, 81000 не прошло верификацию из-за отличия от эталона и 6000 из-за их неоднородности. Выборочный экспертный анализ результатов верификации показывает, что точность предложенного метода превышает 90%.

2.3 Развитие методов оценки биофизических характеристик растительного покрова на основе данных дистанционного зондирования и моделей переноса излучения в оптическом диапазоне (пункт 4.2.3 плана работ на 2017 г.)

Исследования и разработки в рамках данного раздела темы в 2018 году проводились по двум направлениям: А) развитие стохастической модели уравнения переноса излучения (УП); Б) оптимизацию работы ИКИ LAI алгоритма на высоких северных широтах (>60° с.ш.).

ИКИ LAI алгоритм производит оценку индекса листовой поверхности путем сравнения спутниковых данных и соответствующих модельных данных. Ранее для расчета модельных данных использовалась стохастическая модель УП в режиме вычислений для мутной среды (структура среды не учитывалась). Последняя разработка (Shabanov et al., 2018) по модели проективного покрытия завершает построение теоретической базы для статистической модели структуры среды и тем самым открывает возможность использовать полные возможности модели- рассчитывать поле излучение в 3D растительном покрове. В рамках данной работы также были получены важные аналитические соотношения для доли просветов и направленной доли просветов, что позволит улучшить существующие алгоритмы обработки наземных данных для оценки LAI (данные DHP камеры и прибора LAI-2000). В рамках данной работы также была произведена валидация модели с данными независимой 3D модели УП – DART- результаты приведены на Рисунке 2.3.1. результаты показывают хорошее согласие между моделями (Рисунок 2.3.1а) а также подчеркивают существенный вклад 3D эффектов в зависимость канальных данных от LAI (Рис. 2.3.1б).

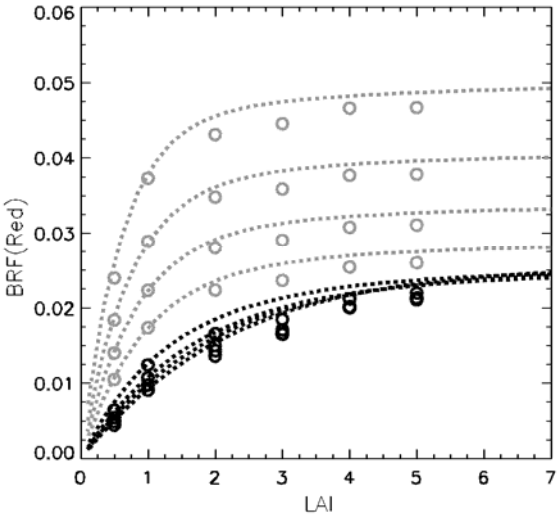
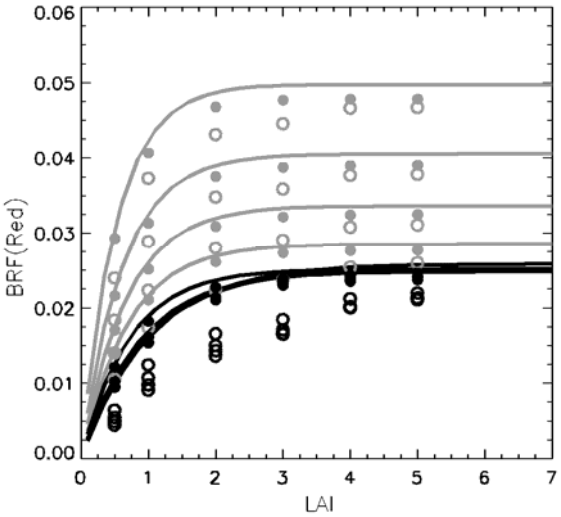
Структурированная среда	Мутная и структурированная среда
	

Рисунок 2.3.1. Сравнение BRF как функции LAI в красных и БИК-диапазонах, реализованных стохастической моделью УП (SRT) и 3D моделью УП (DART) для мутной среды и структурированного покрова. Данные DART показаны кружками (сплошные кружки для мутной среды и полые кружки для структурированного покрова), модельные данные SRT показаны линиями (сплошные линии для мутной среды и пунктирные для структурированного покрова). Моделирование проведено для VZA = 0°, RAA = 0° и результаты представлены черным цветом, и для VZA = 60°, RAA = 160° - серым, и каждый вариант повторен для четырех значений SZA (15°, 30°, 45°, 60°).

Была проведена оптимизация работы ИКИ LAI алгоритма на высоких северных широтах (>60° с.ш.). Анализ временных рядов бета-версии LAI продукта показал, что в осенний период, при низких углах Солнца у LAI продукта возникают существенные аномалии (см. Рис.2.3.2 а): а) полосы чередования низких и высоких значений LAI (нижняя часть карты); б) ступень изменений в значениях LAI (вехняя часть карты);. Анализ данных показал что данные особенности продукта не вызваны физическими свойствами поверхности (изменения рельефа или типов растительности)- а являются артефактами измерений и LAI алгоритма.

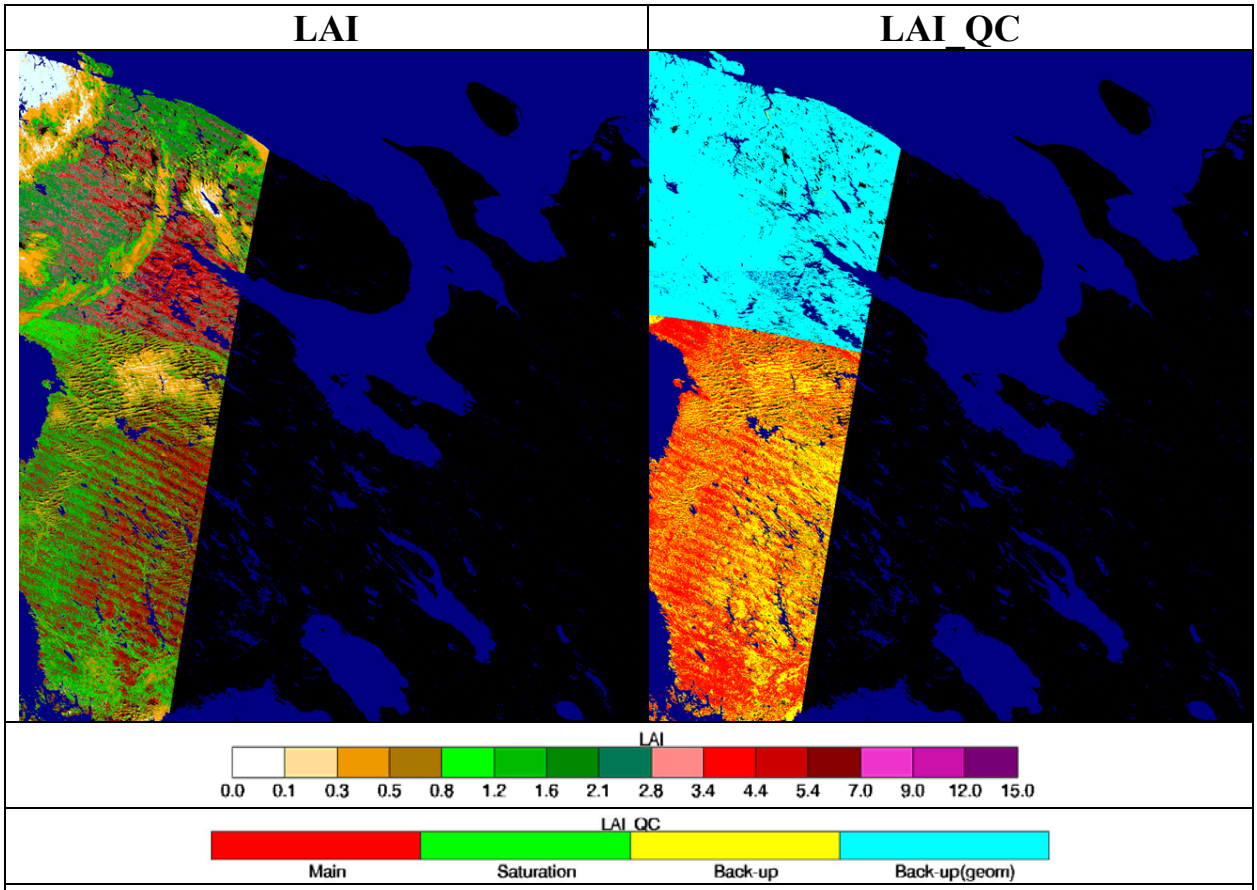
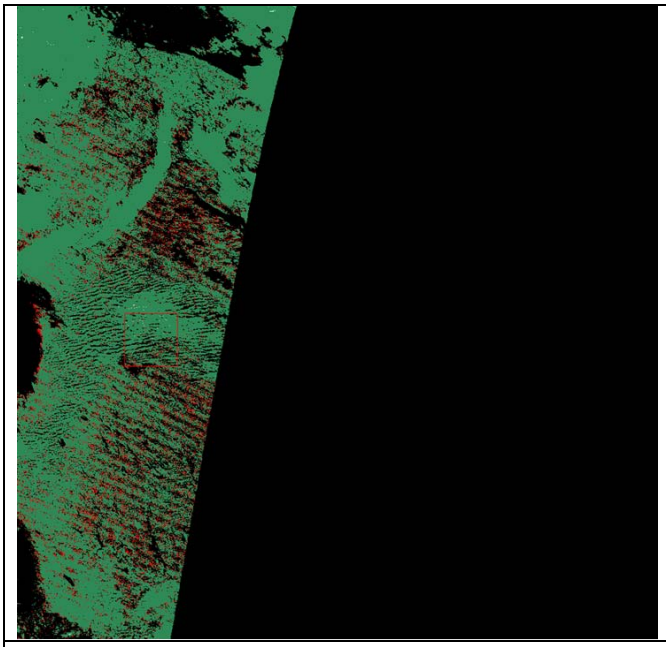


Рисунок 2.3.2. Аномалии при расчете продукта 250м MODIS LAI. Слева показаны суточные данные LAI, а справа соответствующие данные LAI_QC (контроль качества продукта). Данные приведены для MODIS тайла h19v02, 3-й сеанс за 2 октября 2016 г.

Полосы в продукте возникают ввиду эффекта поляризации данных при низких углах солнца (SZA) и низком коэффициенте отражения земной поверхности (КСЯ) (по данным персональной переписки с НАСА). При этих условиях алгоритм атмосферной коррекции работает нестабильно и может занижать значения КСЯ в красном канале, как показано на Рис. 2.3.3. В частности, данные с КСЯ (красный канал) <0.02 являются данными с заниженной оценкой LAI. LAI алгоритм способен выявить аномальные данные- они обрабатываются не основным алгоритмом (основанным на уравнении переноса), а запасным эмпирическим алгоритмом (основанном на эмпирическом соотношении LAI-NDVI). Для решения проблемы было предложено отфильтровывать аномалии удовлетворяющих двум условиям: КСЯ(красный канал) <0.02 и SZA>60° на этапе построения композитных изображений.



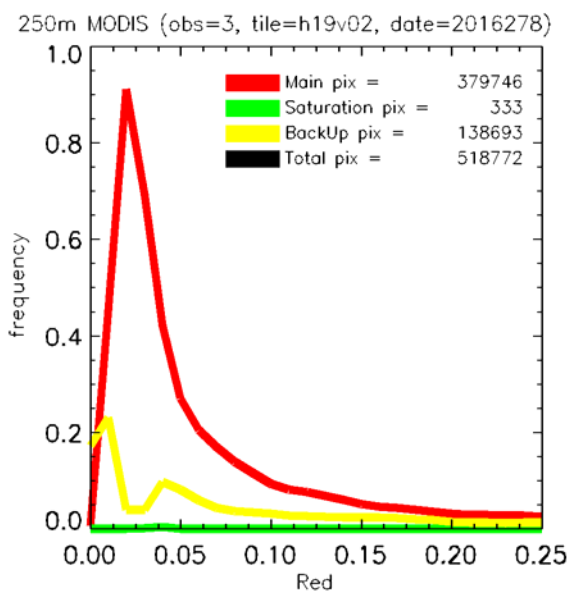


Рисунок 2.3.3. Аномалии в красном канале 250м MODIS данных. Слева показано пространственное распределение данных в красном канале для 3-го сеанса наблюдений за 4 октября 2016 г. Справа показана гистограммы для тех же данных, но разделенных на 2 категории- обработанные основным и запасным алгоритмами. Аномальные данные не удовлетворяют ограничениям основного алгоритма и обрабатываются запасным алгоритмом- они представлены пиком для Red<0.02.

Эффект ступени в значения LAI возникает ввиду внутренних ограничений LAI алгоритма-переключения с основного на запасной алгоритм при зенитном угле солнца, SZA>60°. Используя последние разработки в стохастической модели УП, модельные данные были пересчитаны чтобы расширить диапазон SZA как показано на Рисунке 2.3.4. Комбинированное применение этих двух подходов (новые модельные данные и композитная схема с ограничениями) решает проблему аномалий без какого-либо существенного ограничения на пространственное покрытие LAI продукта.

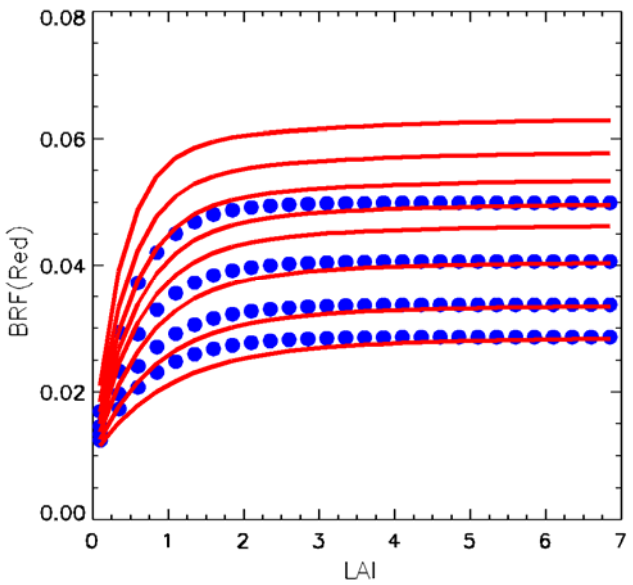


Рисунок 2.3.4. Оптимизация модельных данных на основе стохастического УП. Базовая версия модельных данных представлена синим, а новые данные красным цветом. Диапазон модельных данных был расширен, чтобы включить более высокие значения зенитного угла солнца (SZA) [15°,30°,45°,60°] --> [15°, 30°, 45°, 55°, 60°, 65°, 70°, 75°].

2.4 Развитие методов прогноза и мониторинга последствий воздействия природных пожаров на трансформацию растительного покрова на основе многолетних временных рядов данных дистанционного зондирования (пункт 4.2.4 плана работ на 2018 г.)

Исследования и разработки в 2018 году были направлены на исследование возможности долгосрочного мониторинга поврежденных пожарами лесов и использования зимних спутниковых изображений для оценки последствий воздействия пожаров на леса. В настоящее время имеются широкие возможности использования спутниковых данных для решения задач мониторинга природных пожаров и оценки их последствий. Накоплен опыт использования различных методов и технологий, позволяющих детектировать очаги горения и измерять пройденные огнем площади, а также оценивать последствия воздействия пожаров на леса. Вопрос использования спутниковых данных для оценки состояния лесов и её динамики в последующие за пожаром годы исследован в меньшей степени.

Были проведены экспериментальные исследования, характеризующие возможности количественной оценки состояния поврежденных лесов через несколько лет после воздействия пожара по данным многоспектральных спутниковых измерений. Были использованы независимые опорные данные о повреждениях лесов, собранные ранее в ходе наземных обследований тестовых участков в Амурской, Иркутской, Томской областях, республики Коми и Красноярского края.

В ходе анализа было установлено, что уравнение связи показателя средневзвешенной категории состояния (СКС) лесов и спутникового индекса RdSWVI через несколько лет после воздействия пожара может значительно отличатся на разных участках, при этом основанной причиной обнаруженных отличий является зарастание травянистой растительностью и последующим изменение спектральных свойств поверхности (рис 2.4.1). Таким образом, установлено, что при оценке долгосрочных последствий воздействия пожаров на леса необходим учет фактора влияния подстилающей поверхности на отражательную способность лесов.

Для вечнозеленых хвойных насаждений степень дефолиации и дехромации лесов, которые применяются в качестве основных признаков при оценке состояния деревьев, являются наиболее устойчивыми при сравнении с листопадными деревьями, для которых характерно ежегодное обновление листвы. Была исследована возможность использования зимних спутниковых изображений для оценки повреждения и гибели хвойных лесов через несколько лет после воздействия пожара на основе данных, полученных в Красноярском крае и республике Коми. Была обнаружена устойчивая зависимость СКС от индекса RdNDVI, рассчитываемого на основе значений NDVI до и после пожара. Данная зависимость показала хорошую согласованность для двух тестовых участков (рисунок 2.4.2).

Была построена общая зависимость СКС от индекса RdNDVI, полученная путем объединения наблюдений в республике Коми и Красноярском крае: СКС=10.34*RdNDVI+1.8. На основе данной зависимости был рассчитан показатель СКС для одного их пожаров в республике Коми. Сравнение с показателем СКС, рассчитанным на основе летних данных показывает довольно хорошую согласованность (рисунок 2.4.3), при этом результаты расчета по зимним данным характеризуются более высоким уровнем шума, особенно на участках не занятыми хвойными породами.

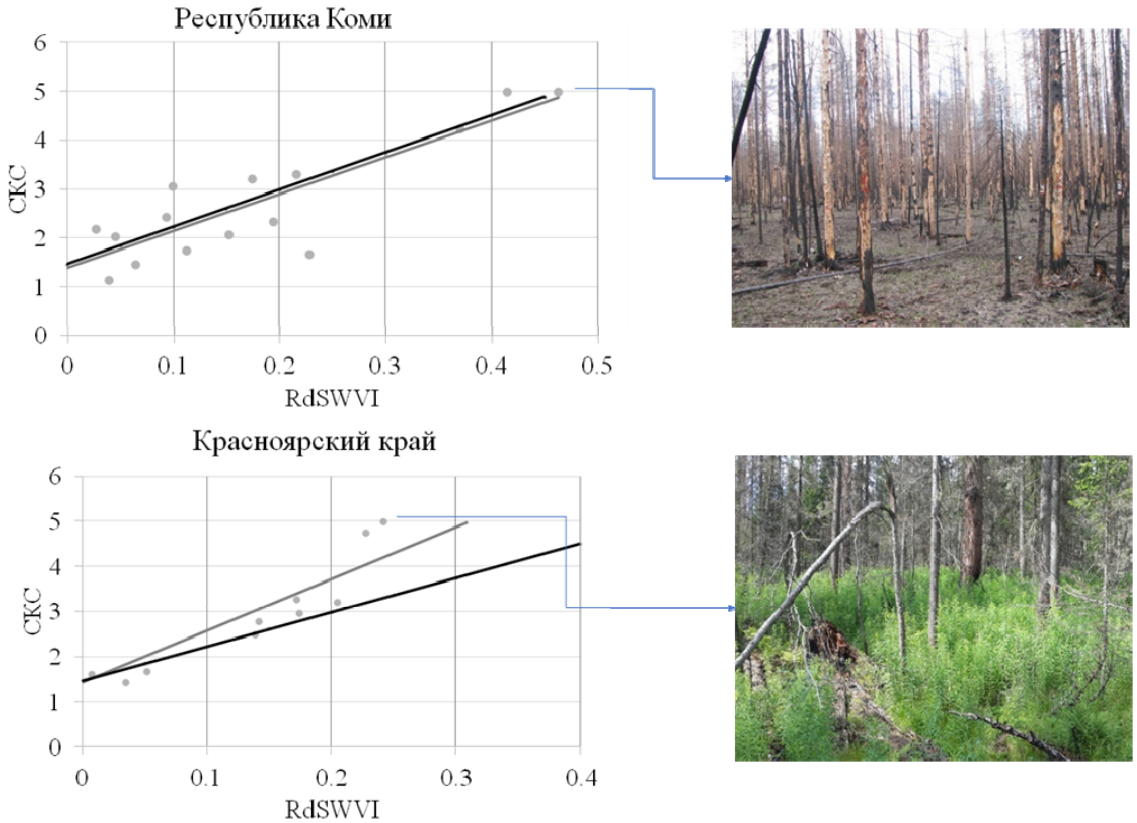


Рисунок 2.4.1 - Графики зависимостей СКС от rdSWVI в республике Коми и в Красноярском крае (показано серым), опорная зависимость СКС от RdSWVI, полученная в год пожара (показано черным), а также фотографии погибших лесов этих регионов

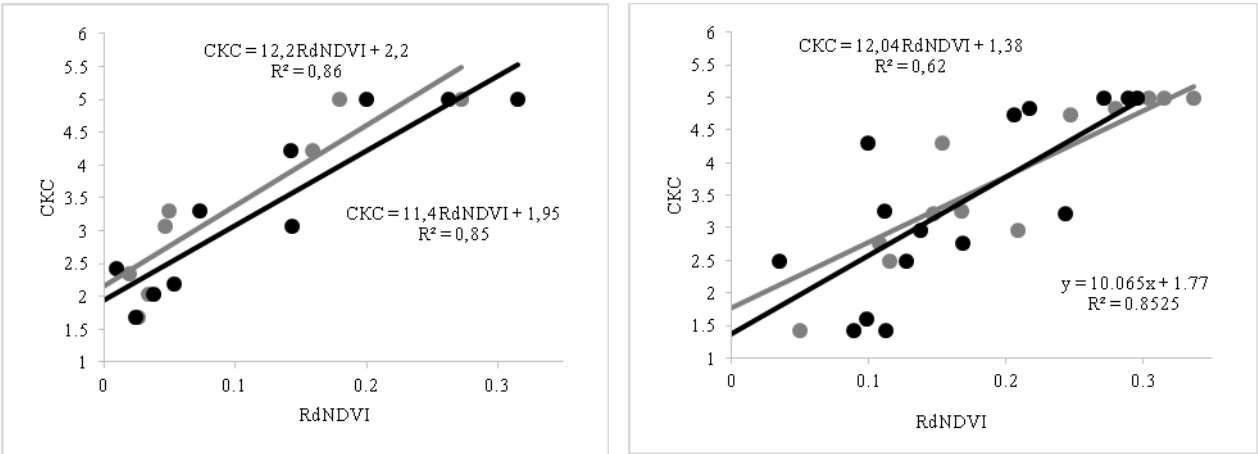


Рисунок 2.4.2 - Графики зависимости СКС от индекса RdNDVI, полученного по зимним данным сразу после пожара (черный график) и через несколько лет после пожара (серый график) в республике Коми (слева), в Красноярском крае (справа)

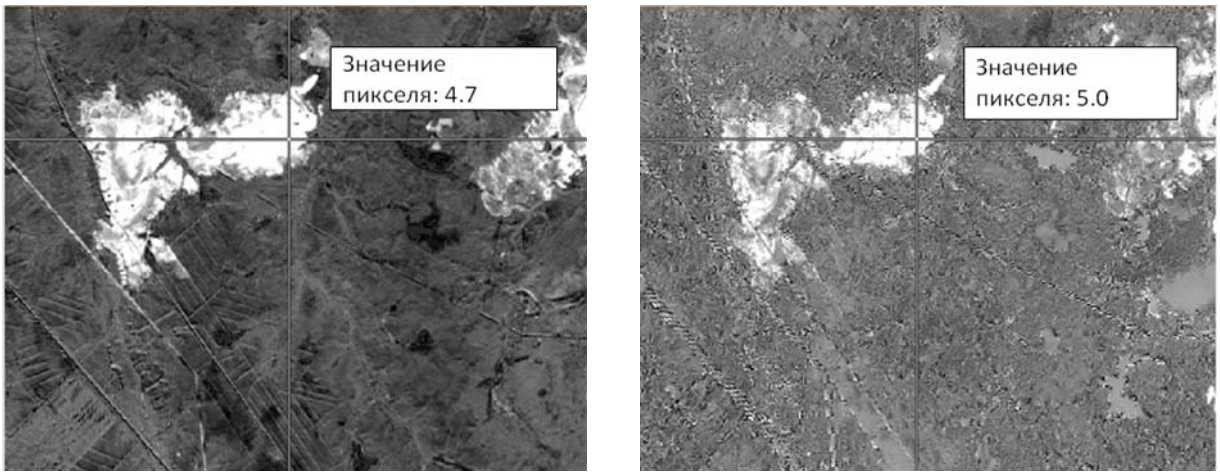


Рисунок 2.4.3 - Сравнение значений СКС лесов, полученных по летним (слева) и зимним (справа) спутниковым данным

Для одного из пожаров в республике Коми была построена двумерная гистограмма, содержащая оценку СКС для каждого пиксела, полученную на основе использования летних и зимних спутниковых данных (рис 2.4.4).

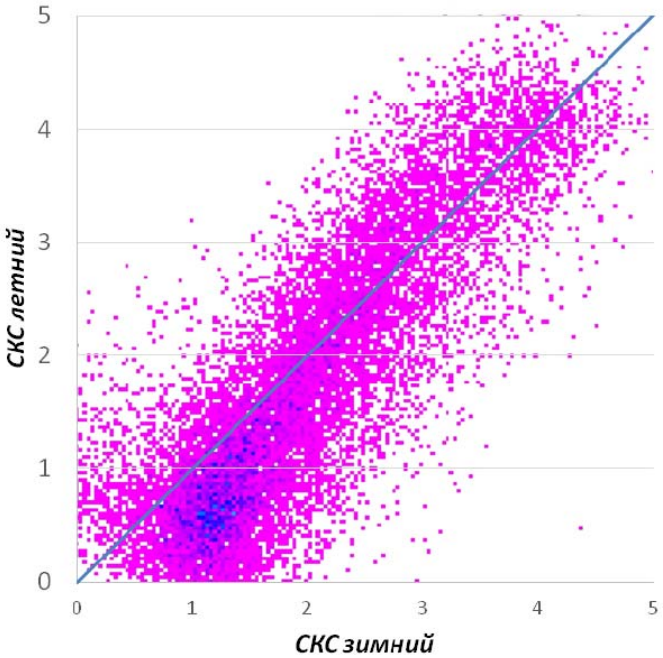


Рисунок 2.4.4 - Сравнение значений СКС, рассчитанных для поврежденных пожаром лесов на основе двух различных уравнений связи с вегетационными индексами (по горизонтали –по зимним данным, по вертикали – по летним данным)

Несмотря на имеющийся разброс, значительная часть пикселей лежит вблизи линии y=x, что говорит о согласованности результатов. В целом гистограмма показывает отсутствие значительных систематических сдвигов, показывая принципиальную возможность использования зимних спутниковых данных для оценки степени повреждения хвойных лесов пожарами лесов. Дальнейшие работы могут быть направлены на более широкое исследование применимости зимних изображений для оценки последствий пожаров, а также возможность их применения для выявления усыханий хвойных лесов, не связанных с воздействием огня.

2.5 Создание методов прогнозирования динамики наземных экосистем в условиях климатических изменений на основе ассимиляции в модели результатов обработки данных дистанционного зондирования (пункт 4.2.5 плана работ на 2018 г.)

Исследования и разработки в рамках данного раздела темы в 2018 году проводились в направлении создания методологии для статистической модели фенологических изменений растительного покрова северных широт России (>60° с.ш.). В отличие от большинства существующих работ основанных на анализе радиометрических параметров (вегетационных индексов), в данной работе используются биофизические параметр LAI, что позволит интерпретировать тренды как реальные изменения растительного покрова и минимизировать влияние мешающих факторов (геометрии излучения, наблюдения, влияния почвы и атмосферы, и пр.).

Произведен предварительный статистический анализ временных рядов 250м MODIS LAI продукта- март 2000- ноябрь 2018. Попиксельно использовалась линейная модель регрессии для пиковых сезонных значений LAI. Рассчитывалось среднее значение max_LAI- как средняя величина вдоль регрессионной линии за период наблюдений. Также рассчитывалось относительное изменение, delta_LAI, изменение за период наблюдений вдоль линии регрессии нормализованное на среднее значение max_LAI (в процентах). Карты обоих переменных показаны на рисунке 2.5.1. для широтного пояса 60° -70° с.ш. необходимо отметить что карты delta_LAI показывает сложную пространственную структуру - с преобладанием отрицательных трендов на западе (в особенности Карелия) и положительных на востоке (в особенности Якутия).

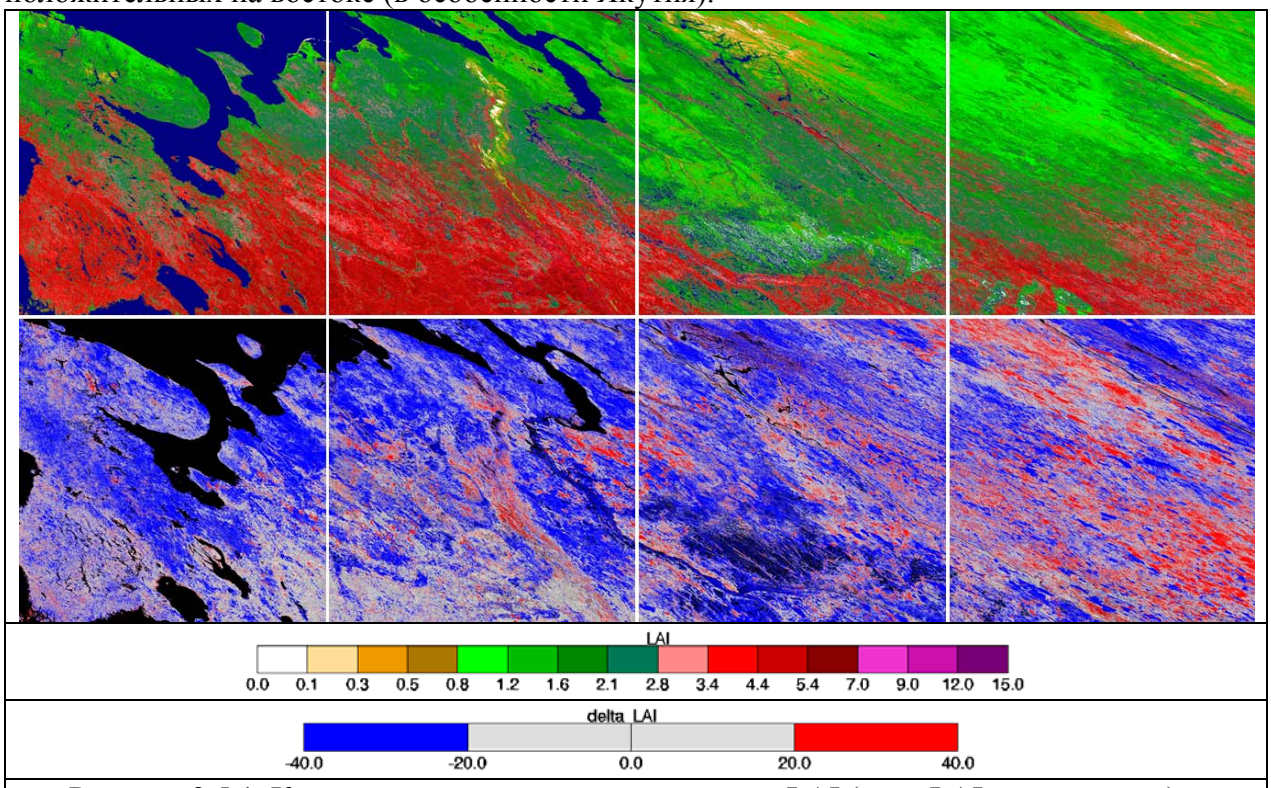


Рисунок 2.5.1. Карты среднего значения максимума LAI (max_LAI, верхний ряд) и изменений максимального значения (delta_LAI, нижний ряд) за период временных рядов 250m MODIS наблюдений, март 2000- ноябрь 2018 гг. Значения max_LAI и delta_LAI получены путем линейной регрессии. Данные покрывают территорию России для широтной полосы 60° -70° с.ш. и соответствуют MODIS тайлам h19v02, h20v02, h21v02, h22v02.

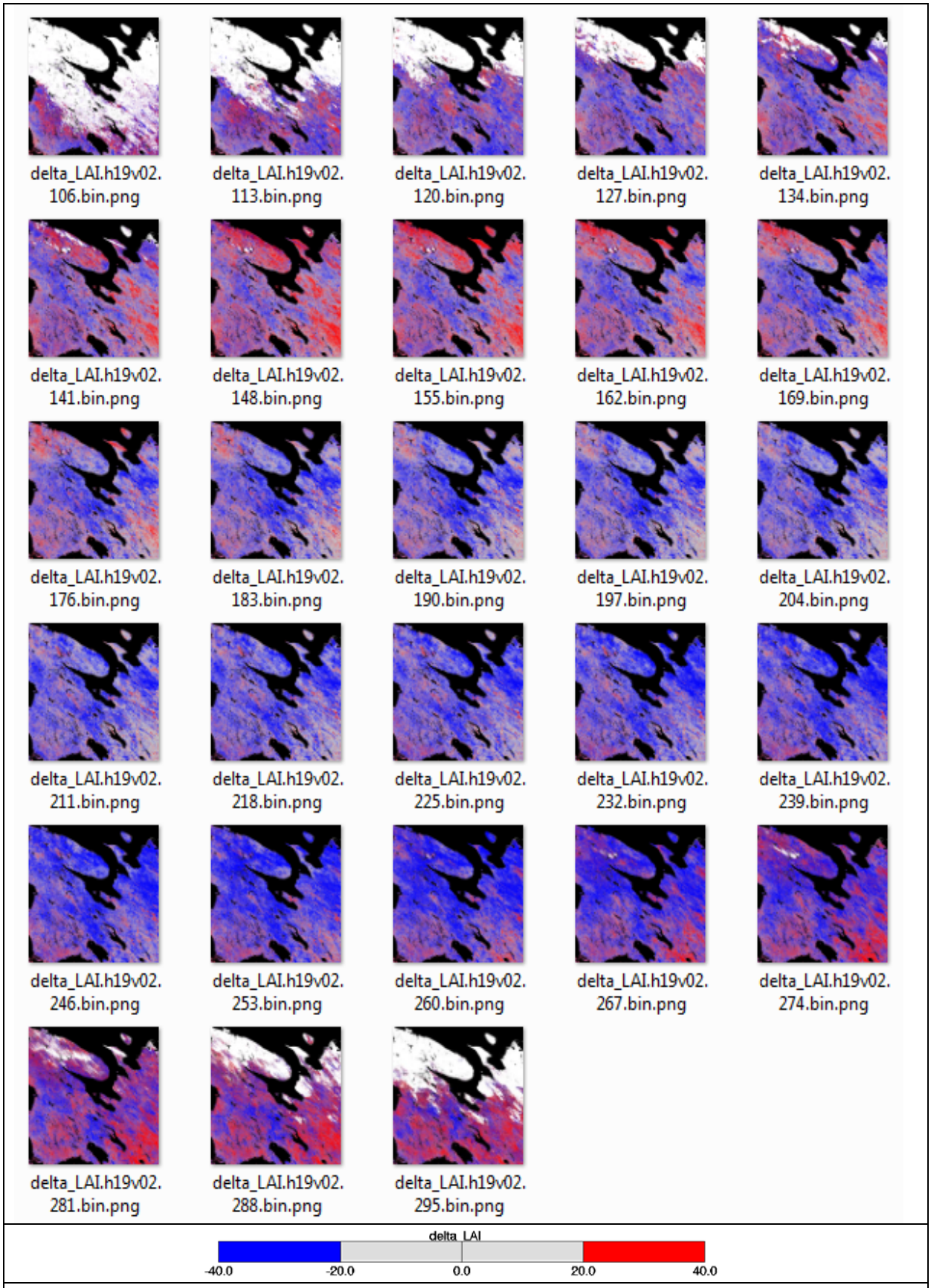


Рисунок 2.5.2. Последовательность карт delta_LAI отображающая сезонную динамику за период временных рядов данных. В отличие от Рисунка 2.5.1 delta_LAI рассчитана не для максимума за сезон а каждой даты 7-дневных композитов (для дней 106-295).

Статистика по трендам посчитанным по пиковым значениям сезонной кривой LAI информативна, но недостаточна для понимания трансформации всей сезонной кривой под воздействием климата или прочих факторов (например, пожаров, антропогенных

факторов). Поэтому был проведен регрессионный анализ для каждой даты 7-дневных композитов для тестового тайла h19v02 (Рисунок 2.5.2) Сравнение карт показывает доминирующий сценарий для данного региона - весна приходит раньше, летом растительность менее развита и осень также наступает раньше.

2.6 Формирование многолетних рядов характеристик состояния наземных экосистем на основе данных спутниковых наблюдений для оценки и мониторинга их ресурсно-экологического потенциала (пункт 4.2.6 плана работ на 2018 г.)

Работы в рамках данного раздела темы в 2018 году были направлены на актуализацию разработанных и накопленных в ИКИ РАН многолетних временных рядов различных характеристик состояния наземных экосистем и их интеграцию в составе единой базы данных, включающей в себя следующие геоинформационные продукты, полученные на основе данных спутниковых наблюдений:

- ***Вегетационный индекс NDVI***

Спектральный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – нормализованный разностный вегетационный индекс) – базовая радиометрическая характеристика состояния растительности, получаемая по данным ДЗЗ, отражающая количество зеленой биомассы растительности.

  - *Пространственное покрытие:* вся территория Северной Евразии (включая всю территорию России), а также выборочные тестовые участки интереса на территории 4 различных континентов.
  - *Временное покрытие:* начиная с 2001 года и по настоящее время.
  - *Временное разрешение:* 7 дней; временные ряды данных обработаны алгоритмом интерполяции, обеспечивающим сглаживание, фильтрацию шумов и заполнение пропусков.

- ***Вегетационный индекс PVI***

Спектральный индекс PVI (Perpendicular Vegetation Index – перпендикулярный вегетационный индекс) эффективен при мониторинге сельскохозяйственных культур, фазы развития которых включают этап всходов на фоне открытой почвы при больших расстояниях между растениями, поскольку соответствующие одинаковому развитию растительности значения PVI являются также одинаковыми для всех яркостей почв.

  - *Пространственное покрытие:* территория субъектов РФ, содержащих в совокупности более 97% площади пахотных земель России.
  - *Временное покрытие:* начиная с 2001 года.
  - *Временное разрешение:* 4 дня, увеличенная частота данных обеспечивает более эффективный мониторинг быстро развивающейся с.-х. растительности; временные ряды данных обработаны алгоритмом интерполяции, обеспечивающим сглаживание, фильтрацию шумов и заполнение пропусков.

- ***Вегетационный индекс SWVI***

Спектральный индекс SWVI (Short-Wave Vegetation Index – коротковолновый вегетационный индекс) чувствителен к содержанию влаги в растительном покрове, что обеспечивает возможность его эффективного использования для мониторинга стресса и повреждения растительности.

  - *Пространственное покрытие:* вся территория России южнее 70° с.ш.
  - *Временное покрытие:* начиная с 2001 года.
  - *Временное разрешение:* ежедневно, увеличенная частота данных обеспечивает более точное определение даты повреждения растительного покрова; временные ряды данных обработаны алгоритмом интерполяции, обеспечивающим сглаживание, фильтрацию шумов и заполнение пропусков.

- ***Индекс листовой поверхности LAI***

Биофизическая характеристика LAI (Leaf Area Index – индекс листовой поверхности) определяется как величина отношения суммарной площади односторонней поверхности листьев на участке земной поверхности к площади данного участка. В отличие от радиометрического параметра NDVI, LAI является биофизическим параметром, характеризующим только плотность листового покрова и свободным от влияния почвы и геометрии солнечного излучения и измерений.

  - *Пространственное покрытие:* вся территория России.
  - *Временное покрытие:* начиная с 2001 года.
  - *Временное разрешение:* 7 дней; временные ряды данных обработаны алгоритмом интерполяции, обеспечивающим сглаживание, фильтрацию шумов и заполнение пропусков.

- ***Карты обрабатываемых с.-х. земель***

Указанные карты, сформированные на основе многолетних временных рядов данных спутниковых наблюдений, характеризуют пространственное распределение и динамику обрабатываемых в интересах сельского хозяйства земель на территории России. В пределах обрабатываемых земель также доступны данные о типе с.-х. земель, такие как карты посевов озимых культур и чистых паров (для всей рассматриваемой территории), а также данные о посевах яровых культур (выборочно).

  - *Пространственное покрытие:* территория субъектов РФ, содержащих в совокупности более 97% площади пахотных земель России.
  - *Временное покрытие:* начиная с 2000 года.
  - *Временное разрешение:* ежегодно.

- ***Карты типов земного покрова***

Легенда указанной карты, сформированной на основе локально-адаптивной классификации сезонных спутниковых композитных изображений КСЯ, содержит 23 класса, в том числе 8 классов лесных экосистем, 4 класса травянистой и кустарниковой растительности, 3 класса тундровых экосистем, 4 класса прочих растительных экосистем и 4 типа земного покрова, не покрытых растительностью.

  - *Пространственное покрытие:* вся территория России.
  - *Временное покрытие:* начиная с 2000 года.
  - *Временное разрешение:* ежегодно.

- ***Карты преобладающих древесных пород***

Указанные карты, сформированные на основе многолетних временных рядов данных спутниковых наблюдений, отражают пространственное распределение и динамику 12-ти основных преобладающих древесных пород в лесах России (в пределах лесных классов карты типов земного покрова), что позволяет более детально характеризовать структуру лесного покрова страны.

  - *Пространственное покрытие:* вся территория России.
  - *Временное покрытие:* начиная с 2006 года.
  - *Временное разрешение:* ежегодно.

- ***Карты запасов стволовой древесины***

Данные карты формируются на основе зимних спутниковых композитных изображений КСЯ покрытой снегом земной поверхности в красной области спектра и характеризуют пространственное распределение и многолетнюю динамику удельного запаса стволовой древесины (в $м^3$/га) в лесах России.

  - *Пространственное покрытие:* вся территория России.
  - *Временное покрытие:* начиная с 2001 года.

– *Временное разрешение:* ежегодно.

- ***Природные пожары***

Данный продукт предоставляет информацию о пространственном распределении территорий, пройденных огнем в результате природных пожаров на территории России на основе сравнения сезонной динамики вегетационного индекса с его характерным поведением (“нормой”), рассчитанной по временным рядам данных ДЗЗ за предыдущие годы.

– *Пространственное покрытие:* вся территория России южнее 70° с.ш.
– *Временное покрытие:* начиная с 2001 года.
– *Временное разрешение:* ежегодно.

- ***Степень повреждения лесов пожарами***

Данный продукт характеризует категорию состояния лесов (5 различных классов), поврежденных лесными пожарами, в соответствии с принятой в лесном хозяйстве классификацией. Расчет степени повреждения выполняется на основе совместного анализа значений вегетационного индекса до и после пожара с учетом естественной вариабельности индекса, оценка которой производится по данным ДЗЗ за предыдущие 5 лет.

– *Пространственное покрытие:* вся территория России южнее 70° с.ш.
– *Временное покрытие:* начиная с 2006 года.
– *Временное разрешение:* ежегодно.

Все вышеперечисленные геоинформационные продукты получены на основе данных спутниковых наблюдений прибором MODIS и имеют пространственное разрешение около 250 м.

2.7 Исследование динамики наземных экосистем России на основе анализа многолетних временных рядов характеристик их состояния, полученных по данным дистанционного зондировании со спутников (пункт 4.2.7 плана работ на 2018 г.)

Исследования и разработки в рамках данного раздела темы в 2018 году были направлены на анализ динамики лесных экосистем России на основе временных рядов тематических спутниковых продуктов.

Для оценки динамики общей площади лесов была использована временная серия карт растительного покрова, полученная на основе спутниковых данных с пространственным разрешением с 230 м. Данные карты получаются ежегодно на всю территорию России, начиная с 2000 г. В целом с 2000 г по 2016 г. наблюдается сокращение площади лесов приблизительно на 14 млн. га. В то же время наблюдаются отдельные периоды роста и падения общей площади лесов. Результаты анализа были сопоставлены с информацией Росстата (рисунок 2.7.1). Стоит отметить различия в абсолютных значениях, которые могут быть связаны, прежде всего, с различными критериями выделения покрытой лесом площади. В то же время наблюдаются существенные отличия в оценках динамики лесной площади за представленный период наблюдений. Расхождения связаны в основном с различными оценками динамики лесной площади с начала по середину 2000-х годов. В то же время с конца 2000-х годов наблюдается постепенное сокращение площади лесов на основе двух наборов данных.

Рисунок 2.7.1 - Динамика площади лесов по информации Росстата и по данным ДЗЗ

Был также исследован вопрос динамики площадей отдельных групп древесных пород (рисунок 2.7.2). В частности обнаружено, что площадь ценных темнохвойных пород дерева имеет тенденцию к сокращению. Начиная с 2000 года, общая площадь темнохвойных лесов на территории России сократилась более чем на 8%.

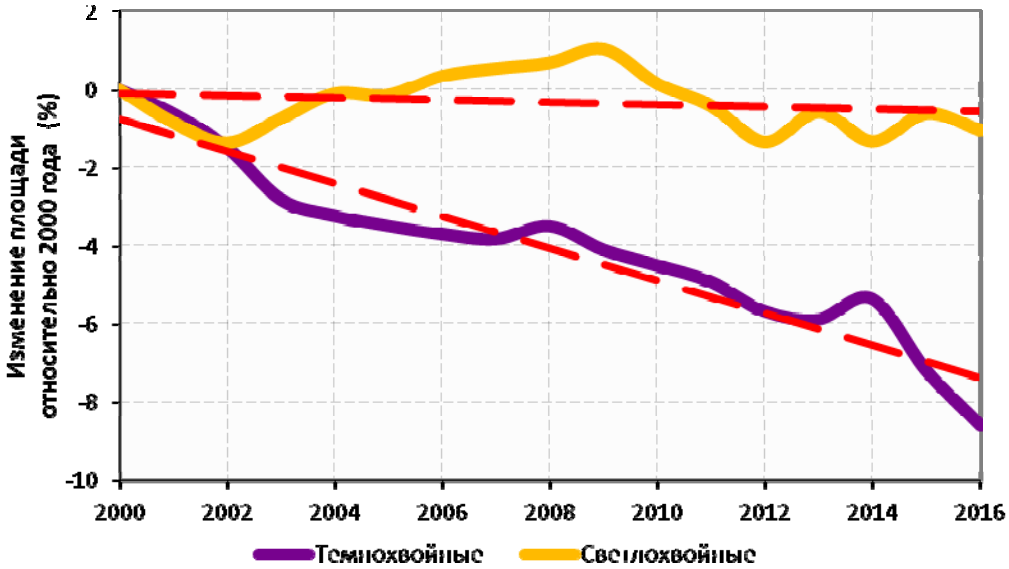


Рисунок 2.7.2 - Динамика площади отдельных групп древесных пород на территории России по данным ДЗЗ

Помимо общей площади лесов важной характеристикой является запас стволовой древесины. Для оценки динамики данного показателя была использована временная серия карт запасов древесины на всю территорию России с пространственным разрешением 230 м. Данная карта получается на основе применения уравнения связи запаса и коэффициентом спектральной яркости, покрытой снегом земной поверхности, в красной области спектра. Стоит отметить, что данных подход достаточно чувствителен к характеристикам снежного покрова, которые могут иметь межгодовую изменчивость в зависимости от погодных условий, что может приводить к случайным ошибкам. Представленная на рисунке 2.7.3 динамика запасов стволовой древесины, позволяет сделать вывод о том, что, несмотря на межгодовой разброс оценок данного показателя,

наблюдается тенденция к его росту. Официальные данные также говорят о росте общего запаса, однако показывают более низкую скорость роста и межгодовую динамику.

Данный показатель с одной стороны отражает потери древесины в результате пожаров, вырубок и других факторов, а с другой возобновление и рост лесных насаждений. Стоит отметить, что спутниковых мониторинг негативных факторов, таких как гибель лесов от пожаров, в последние годы ведется достаточно активно. В то же время вопрос мониторинга лесовозобновления, а также роста и развития лесов России исследован в меньшей степени и может являться направлением дальнейших исследований.

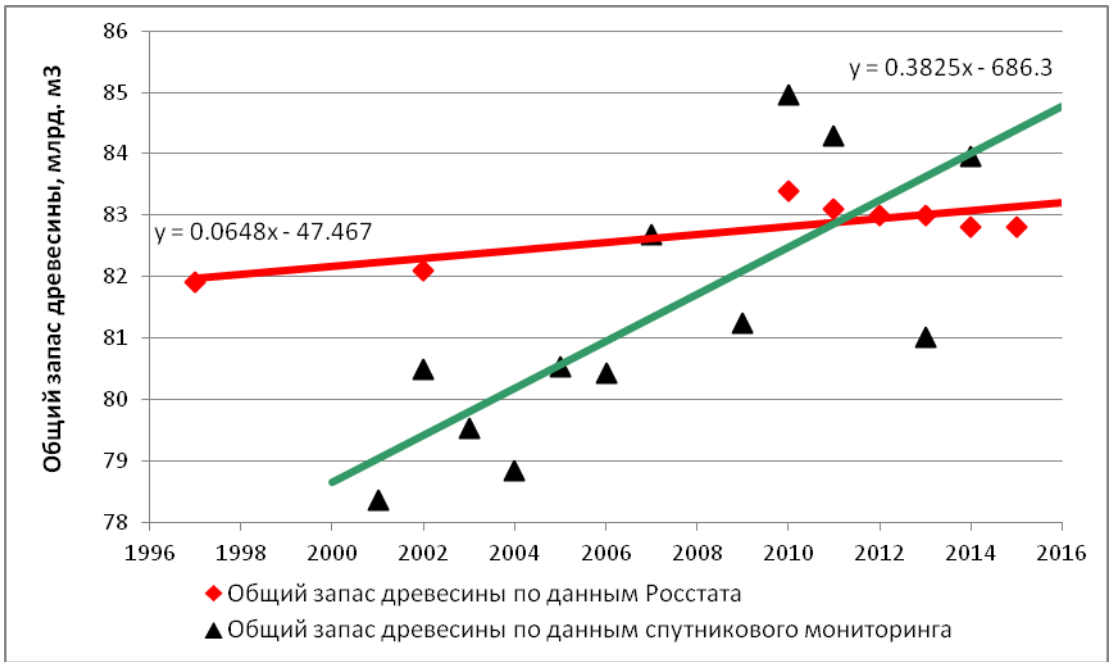


Рисунок 2.7.3 - Динамика запасов древесины в лесах России по информации Росстата и по данным ДЗЗ

Пожары являются одним из наиболее деструктивных факторов, воздействующих на лесные экосистемы и приводящим к сокращению площади и запасов лесов. При этом, стоит отметить, что пожары могут приводить к различным последствиям для древесной растительности и не всегда приводят к гибели леса, что приводит к необходимости не только выявлять пройденные огнем площади, но и выполнять последующую оценку степени повреждения лесов. В рамках данного раздела темы была исследована межгодовая динамика пирогенной гибели лесов на всей территории России. В качестве источника информации был использован временной ряд спутниковых оценок степени повреждения лесов пожарами, с пространственным разрешением 230м, включающий оценки площади погибши лесов. Были выявлены значительные межгодовые колебания значений, а также незначительная межгодовая тенденция роста площади пирогенной гибели лесов (рисунок 2.7.4). Сравнение с официальными данными показывает несогласованность последних с оценками, полученными в рамках проведенных исследований. Значительные занижения официальных оценок площади погибших от пожаров лесов, связаны, прежде всего, с невозможностью проведения наземных и авиационных обследований миллионов гектар пройденных огнем лесов с последующей оценкой их степени повреждения. В совокупности с огромными площадями лесов России, а также их труднодоступностью, данные обстоятельства диктуют необходимость использования средств дистанционного зондирования Земли из космоса для их мониторинга.

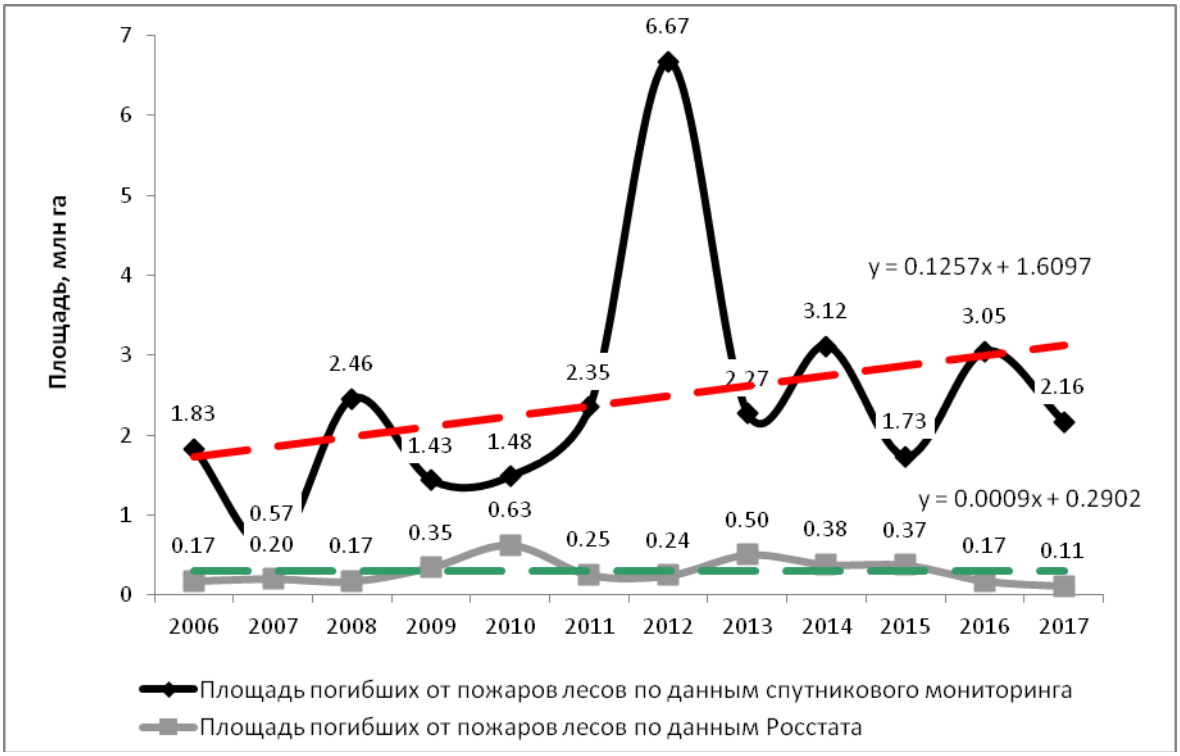


Рисунок 2.7.4 - Площадь пирогенной гибели лесов по информации Росстата и по данным ДЗЗ

Заключение

Выполнение научно-исследовательских работ по теме «Мониторинг-Биосфера» проводилось в полном соответствии с утвержденным планом. В результате выполненных исследований и разработок в области спутникового мониторинга растительного покрова получил развитие метод дистанционной оценки индекса листовой поверхности растительного покрова по данным MODIS. Получили развитие методы предварительной обработки спутниковых данных. Разработан метод локально-адаптивного построения эталонов динамики сельскохозяйственных культур по данным ДЗЗ, позволяющий проводить верификацию данных о сельскохозяйственных полях. Начаты работы по разработке статистической модели фенологических изменений растительного покрова северных широт России. Исследованы возможности долгосрочного мониторинга поврежденных пожарами лесов и использования зимних спутниковых изображений для оценки последствий воздействия пожаров на леса. Проведены работы по актуализации многолетних временных рядов различных характеристик состояния наземных экосистем. Осуществлен анализ динамики лесных экосистем России на основе результатов многолетнего спутникового картографирования.

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

РАЗДЕЛ 3 МОНИТОРИНГ-КЛИМАТ

Введение

В 2018 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**:**
  - Развитие методов изучения проявления климатических тенденций в системе океан-атмосфера и в структуре радиотеплового поля Земли с использованием данных микроволнового спутникового мониторинга – радиотепловидения.
  - Проведение количественных исследований процессов переноса скрытого тепла в общей системе глобальной циркуляции атмосферы Земли на синоптических и климатически значимых масштабах, в частности, переноса скрытого тепла из Атлантики в Арктику в контексте проблемы изучения климатических и погодных изменений арктической зоны.
  - Применение электродинамической модели радиоизлучения природных слоистых сред для анализа пространственно-временных характеристик морского льда Арктики и ледяного покрова крупных пресноводных озер по данным многочастотной микроволновой спутниковой радиометрии для решения задач изучения изменчивости климатических параметров планеты.
  - Проведение анализа изменения морского ледяного покрова Арктики за период 1987-2020 гг., восстановленного на основе данных SSM/I и SSMIS на основе нового VASIA2 с привлечением многолетнего массива наблюдений за морским льдом. В том числе, проведение анализа ежегодной эволюции площади ледопокрытия и снежниц на арктическом морском льду за период 1987-2020 гг.
  - Исследование фенологии ледяного покрова крупных пресноводных озер (Байкал, Ладожское, Онежское, Великие Американские, Канадские и т.д.) по данным радиометра MIRAS (1.4 ГГц) спутника SMOS и радиометра AMSR-2 (6.925, 7.3, 10.65, 18.7, 23.8, 36.5, и 89.0 ГГц) спутника GCOM-W1. В том числе, анализ изменения дат фенологических фаз пресноводного ледяного покрова на крупных пресноводных водоемах за 1987-2020 гг. в контексте региональных и глобальных климатических изменений.
  - Развитие методов 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.
  - Разработка дифференциальных радиотепловых методов и технологического облика космической системы для определения высотных профилей температуры и влажности атмосферы, скорости и направления приповерхностного ветра по радиотепловым измерениям
- Разработка научных подходов к организации дистанционного мониторинга природных катастрофических явлений, риска их возникновения и их

последствий (ураганов, извержения вулканов, землетрясений и др.). В том числе:

- **С**оздание научных баз данных глобального тропического циклогенеза за 1983 -2020гг. и базы радиотепловых данных за 1987-2019гг. модернизированных микроволновых комплексов по программе DMSP и последующих программ.
- Разработка научных подходов и методов к организации мониторинга вулканической активности с помощью современных систем и технологий спутниковых наблюдений. В том числе разработка новых методов в оценки характеристик извержений на основе комплексного анализа результатов математического моделирования динамики распространения пепловых шлейфов и данных спутниковых наблюдений (совместно с ИВиС ДВО РАН и ВЦ ДВО РАН)**.**

Настоящий раздел посвящён описанию основных результатов, полученных при выполнении данных работ. Полученные в рамках работ 2018 года результаты также изложены в следующих публикациях [13, 14-16, 71-74, 77, 78, 111-115, 203-214, 215, 224, 232-234].

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 2018 г.)

3.1.1 Развитие методов изучения проявления климатических тенденций в системе океан-атмосфера и в структуре радиотеплового поля Земли с использованием данных микроволнового спутникового мониторинга – радиотепловидения. (пункт 4.3.1.1 плана работ на 2018 г.)

Десять лет назад заведующим отделом ИКИ РАН д.ф.-м.н. профессором Шарковым Е.А. была предложена разработка анимационного высокоскоростного представления глобального радиотеплового поля системы океан-атмосфера как основного термодинамического элемента при анализе адвективных мезомасштабных потоков скрытого тепла в земной атмосфере. В дальнейшем это направление в микроволновом спутниковом мониторинге получило наименование – радиотепловидение.

В настоящее время в отделе № 55 в кооперации с сотрудниками ФИРЭ РАН продолжают активно разрабатываться предложенное ранее представление в форме практической методики и соответствующее программное обеспечение для выполнения спутникового радиотепловидения при наблюдении (в режиме анимации) мезомасштабных и синоптических процессов в земной атмосфере. 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, во-первых, является мировым достижением в данной проблематике, и, во-вторых, 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 2018 г. работа была направлена на развитие детальных физических, математических и 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. В равной степени такой подход может быть использован при наблюдении и мониторинге быстро меняющихся твердых компонент в криолитосфере Земли , в первую очередь, здесь может идти речь о высокоскоростных вариациях площадей морского льда Северной полярной шапки состояния глетчерных ледников Антарктиды и Гренландии.

В публикациях за 2018 г. детально обсуждены направления дальнейшего развития подхода спутникового радиотепловидения. Совершенствованию методики, несомненно, будет способствовать расширение анализа на максимально возможный объем доступных спутниковых данных. К настоящему моменту сотрудники отдела уже располагают значительными массивами накопленных и обработанных данных.

3.1.2 Проведение количественных исследований процессов переноса скрытого тепла в общей системе глобальной циркуляции атмосферы Земли на синоптических и климатически значимых масштабах, в частности, переноса скрытого тепла из Атлантики в Арктику в контексте проблемы изучения климатических и погодных изменений арктической зоны. (пункт 4.3.1.2 плана работ на 2018 г.)

Поскольку летние сезоны 2015–2017 гг. характеризовались очень высокой активностью тропического циклогенеза, особенно в Северном полушарии и в частности в Северной Атлантике, то авторы продолжили в 2018г. исследование энергообмена мезомасштабных кризисных структур в атмосфере Земли.. В этих условиях наиболее вероятно образование систем двойных (взаимодействующих) ТЦ, частота возникновения которых максимальна в северо-западном регионе Тихого океана и в Северной Атлантике. Системы двойных ТЦ привлекают повышенное внимание исследователей в связи с тем, что взаимодействие ТЦ может приводить, с одной стороны, к существенным отклонениям их траекторий от прогнозируемых и влиять на эволюцию ТЦ, а, с другой — серьёзным изменениям в функционировании полярного переноса и, в частности, переноса скрытой теплоты из Атлантики в арктическую зону. В качестве кандидата на роль двойной системы ТЦ были рассмотрены два мощных ТЦ Goni и Atsani (11–26 августа 2015 г.), которые долгое время двигались параллельными курсами над открытым океаном, почти синхронно меняя свою интенсивность. При взаимодействии двух ТЦ в зависимости от начальных условий могут реализовываться принципиально различные сценарии совместного движения: циклоническое вращение с разбеганием, деформация или полное разрушение одного ТЦ, частичное или полное слияние ТЦ. При такой сложной динамике важная задача стоит перед дистанционным зондированием понять алгоритмы вычисления полной энергии системы взаимодействующих ТЦ. Важным энергетическим аспектом взаимодействия ТЦ является формирование адвективных потоков в нижней тропосфере, как основного фактора энергетического баланса ТЦ. Анимация облачных систем, наблюдаемых с метеорологических спутников Himawari-8 (JMA) и SNPP(NOAA), а также визуализация результатов моделирования нижних слоев атмосферы показывают, что формирование воздушных потоков носило сложный характер с рядом специфических особенностей .

В период 2018г. подход спутникового радиотепловидения впервые применён для анализа эволюции двойной системы ТЦ. При этом взаимодействие ТЦ в системе не сказывалось явно на траекторных особенностях, но формировало сложные адвективные потоки скрытого тепла в нижней тропосфере. Расчёт этих потоков на основе ранее разработанной методики имел важную особенность, связанную с выбором охватывающих контуров сложной конфигурации. В силу специфических условий развития системы ТЦ Goni и Atsani удалось промоделировать деформирующийся составной контур на основе

пары круговых. В результате, как и в работах авторов, посвящённых анализу индивидуальных ТЦ, показана взаимосвязь между интенсификацией и диссипацией системы ТЦ и притоком скрытого тепла к системе ТЦ из окружающей атмосферы. В общем случае обоснование выбора формы и других характеристик охватывающих контуров, вероятно, потребует привлечения больших объемов дополнительной информации (и разработки общей концепции динамических контуров), что станет предметом дальнейших исследований.

3.1.3 Применение электродинамической модели радиоизлучения природных слоистых сред для анализа пространственно-временных характеристик морского льда Арктики и ледяного покрова крупных пресноводных озер по данным многочастотной микроволновой спутниковой радиометрии для решения задач изучения изменчивости климатических параметров планеты. (пункт 4.3.1.3 плана работ на 2018 г.)

Работа выполнялась совместно с ААНИИ (г. Санкт-Петербург) и ИФА А.М. Обухова РАН (г. Москва).

Выполнено сравнение сплоченности ледяного покрова, определенной по данным спутниковой микроволновой радиометрии с помощью алгоритмов NASA Team, ASI и VASIA2, с данными специальных судовых наблюдений. Использовалась база данных визуальных наблюдений за ледяным покровом, полученная во время 15 экспедиций в Арктике. Сравнение проводилось по различным градациям сплоченности (редкие, разреженные, сплоченные, очень сплоченные и сплошные льды) отдельно для летнего и зимнего периодов. В среднем, в летний период алгоритм NASA Team недооценивает сплоченность ледяного покрова на 1 балл по сравнению с данными судовых наблюдений, алгоритмы ASI и VASIA2 – на 0,5 балла. Все три алгоритма переоценивают общую сплоченность в зонах редких льдов и недооценивают – в зонах сплоченных, очень сплоченных и сплошных льдов. Максимальные средние ошибки характерны для разреженных льдов, которые наиболее часто наблюдаются в прикромочных районах. В зимний период средняя ошибка для всех алгоритмов составляет не более 1 балла по сравнению с данными судовых наблюдений, однако в редких и в сплоченных льдах средняя ошибка в зимний период существенно выше, чем в летний период. Для оценки влияния процессов таяния на значения сплоченности, полученной по данным спутниковой микроволновой радиометрии, использовались судовые данные о степени разрушенности ледяного покрова. Средняя ошибка при максимальной площади снежниц на поверхности льда достигает -2,9 балла для алгоритма NASA Team, -2,8 балла для алгоритма ASI и -5,0 баллов для алгоритма VASIA2. Полученные результаты будут полезны для определения масштабов деградации ледяного покрова в Северном Ледовитом океане, наблюдаемого в последние годы . Смотри рис. 3.1.3.1.

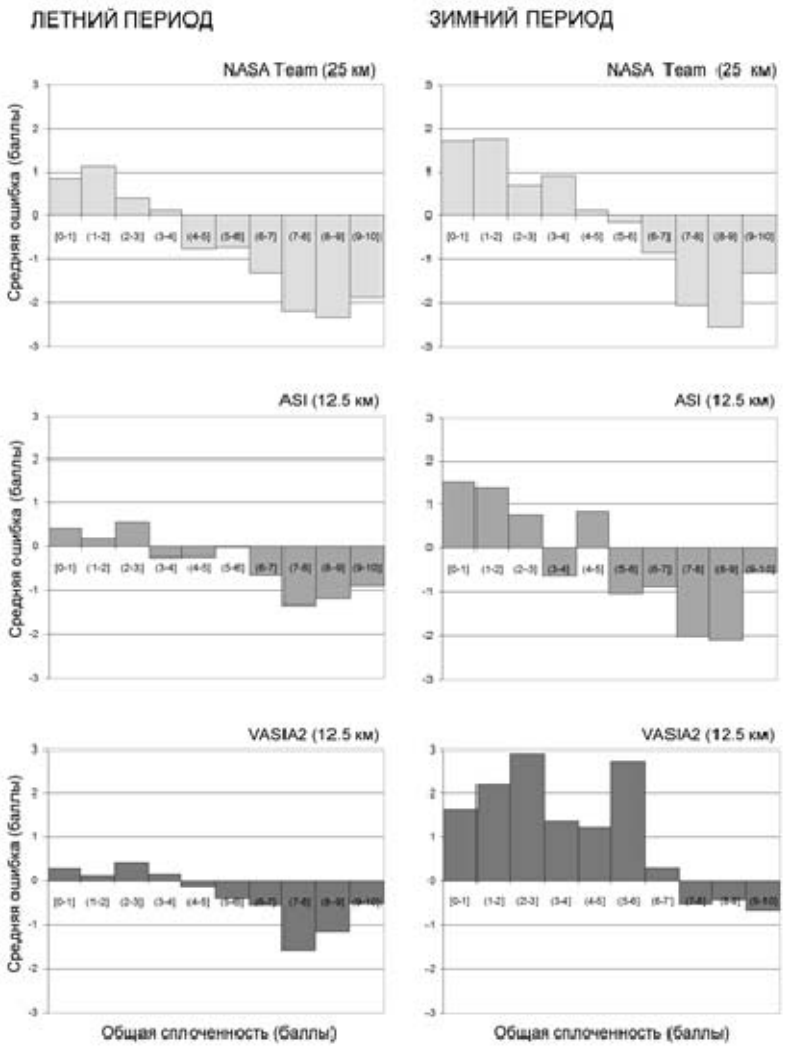


Рис. 3.1.3.1 - Распределение средней ошибки между значениями сплоченности, рассчитанной по трем алгоритмам, и сплоченностью, полученной с помощью судовых наблюдений.

3.1.4 Проведение анализа изменения морского ледяного покрова Арктики за период 1987-2020 гг., восстановленного на основе данных SSM/I и SSMIS на основе нового VASIA2 с привлечением многолетнего массива наблюдений за морским льдом. В том числе, проведение анализа ежегодной эволюции площади ледопокрытия и снежниц на арктическом морском льду за период 1987-2020 гг. (пункт 4.3.1.4 плана работ на 2018 г.)

Продолжено накопление данных комплексов дистанционного зондирования DMSPI-SSM/I до SSMI/I на КА F 18, предназначенных для мониторинга поверхности Земли. В настоящее время накоплены данные с 1987 по 2018 г. для Северного и Южного полушарий. Объёмы данных для каждого полушария равны примерно 100 ГГб в упакованном виде. Данные представлены в новой полярной проекции.

Для работы с данными модернизированы пакеты программ, позволяющих распаковку данных, формирование радиотепловых полей для северного и южного полушарий, построение временных рядов радиотепловых температур для выбранных фрагментов и отдельных географических координат, что позволяет провести сопоставление с данными, получаемые на станциях наземного наблюдения.

Для каждого суточного интервала по многоканальным радиотепловым полям рассчитываются ледовые поля несколькими алгоритмами — до пяти, в том числе вычисление полей молодых льдов и «снежниц», вычисляются площади ледового покрытия, вычисляются минимальное и максимальное значение площади с 1987–1992 по

2018 г. В настоящее время проводится аналитическая работа по корреляционному анализу временных изменений этих величин.

3.1.5 Исследование фенологии ледяного покрова крупных пресноводных озер (Байкал, Ладожское, Онежское, Великие Американские, Канадские и т.д.) по данным радиометра MIRAS (1.4 ГГц) спутника SMOS и радиометра AMSR-2 (6.925, 7.3, 10.65, 18.7, 23.8, 36.5, и 89.0 ГГц) спутника GCOM-W1. В том числе, анализ изменения дат фенологических фаз пресноводного ледяного покрова на крупных пресноводных водоемах за 1987-2020 гг. в контексте региональных и глобальных климатических изменений. (пункт 4.3.1.5 плана работ на 2018 г.)

Работа выполнялась совместно с ИВЭП СО РАН (г. Барнаул).

Озерный и речной лед играют важную роль в биологических, химических и физических процессах холодных пресноводных регионов. Пресноводный лед также имеет большое экономическое значение: от гидроэлектроэнергетики и транспорта (например, от продолжительности ледовых и открытых водных сезонов) до возникновения и уровня наводнений, которые могут нанести серьезный ущерб инфраструктуре и имуществу. Помимо значительного влияния на биофизические и социально-экономические системы, пресноводный лед также является чувствительным индикатором вариаций и изменения климата. По оценкам, пресноводный лед покрывает общую площадь 1,7 × 106 км2 Северного полушария (определяется при максимальной к северу от изотермы января 0°C, за исключением ледникового щита Гренландии) и объемом 1,6 × 103 км3. Ориентировочная площадь пресноводного льда почти равна показателю ледяного покрова Гренландии. Озера, образующие сезонный ледяной покров, являются основным компонентом наземного ландшафта. Они покрывают приблизительно 2% поверхности Земли, причем большинство из них расположено в Северном полушарии. Оценки их ареала могут достигать до 40-50% в некоторых регионах Арктики и субарктического региона. Озера имеют самые высокие скорости испарения любой высокоширотной наземной поверхности. Они важны для региональных климатических и метеорологических процессов. Мелкие озера быстро теплеют весной и имеют очень высокие скорости испарения, пока они не замерзнут осенью. Большие озера занимают более длительный период нагрева, но в начале зимы дольше остаются безо льда (или частично безо льда), и их общее испарение значительно больше. Наличие (или отсутствие) ледяного покрова на озерах в зимние месяцы влияет на региональные климатические и погодные явления. Поэтому мониторинг озерного льда имеет решающее значение для анализа и прогнозирования высокоширотных погодных и климатических явлений.

Результаты:

1) На основе авторской модели собственного микроволнового излучения плоскослоистой неоднородной, неизотермической среды выполнен анализ фенологических фаз ледяного покрова крупных пресноводных озер (Байкал, Ладожское, Большое Медвежье, Большое Невольничье, Гурон), а также речной части Обской губы по данным радиометра MIRAS (1.4 ГГц) спутника SMOS.
2) Сопоставление спутниковых данных с модельными расчетами позволило выявить для замерзающих пресноводных акваторий три временные области значений яркостных температур: первая область связана с излучением свободной ото льда водной поверхности; вторая - с установившимся на поверхности озер ледяным покровом; а третья область, характеризуемая кратковременным резким возрастанием яркостной температуры на величину 40-90 K, соответствует периоду кардинального изменения в структуре ледяного покрова (период интенсивного разрушения и таяния). Смотри рис. 3.1.5.1.

3) Создана методика определения начала весеннего разрушения льда крупных пресноводных водоемов по спутниковым данным. Полученные результаты могут быть использованы для определения сроков действия ледовых переправ (зимников) так как, начиная с этого периода лед, становится ненадежным и не может быть использован в качестве естественных переправ через водные объекты (реки, озера, водохранилища и т.п.).

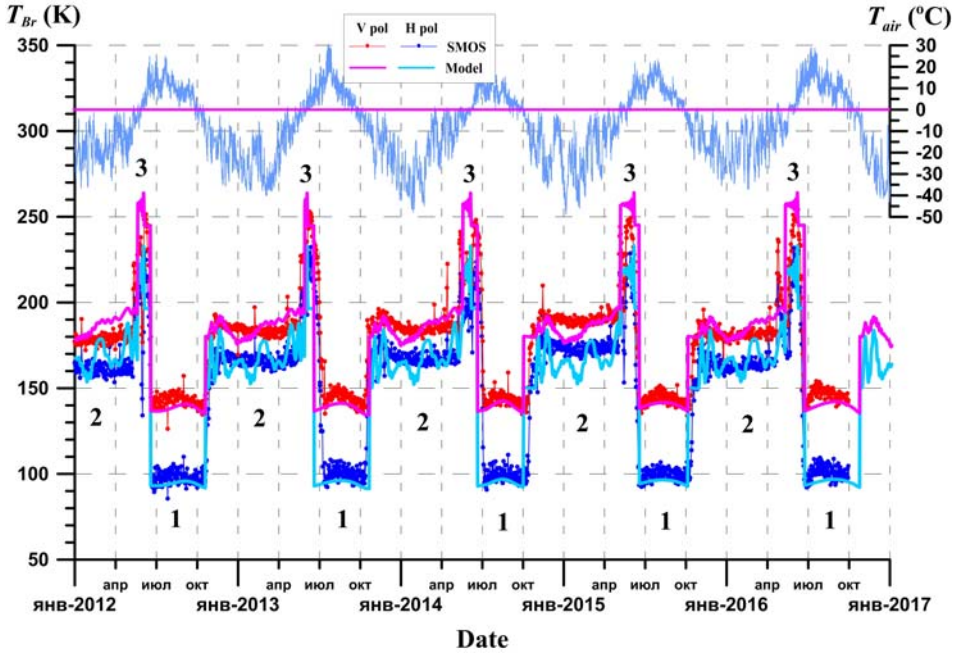


Рис.3.1.5.1. Представлены сезонные вариации за 2012-2016гг температуры воздуха и яркостной температуры на частоте 1.4 ГГц речной части Обской губы. Радиометр MIRAS спутника SMOS, угол зондирования 42.5град.

3.1.6 Развитие методов 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. (пункт 4.3.1.6 плана работ на 2018 г.)

Принципиальным моментом в научном прогнозе климатического состояния системы океан-атмосфера в Арктическом регионе является количественное и качественное состояние площади Северной полярной шапки в зимний сезон (февраль) и в летний сезон (сентябрь) на основе информации о состоянии ледопокрытия в предыдущие годы. Подавляющее большинство отечественных и зарубежных работ базируется на концепции «трендового» подхода, т.е. регрессионных моделей первого порядка. Детальное исследование стохастических режимов временной эволюции арктического ледового покрова Северной полярной шапки (СПШ) за 1987–2018 гг., выполненных сотрудниками отдела исследования Земли из космоса ИКИ РАН в 2017-2018 гг., с помощью регрессионных моделей высокого порядка (от второго до шестого) позволило получить убедительные доказательства о признании чисто линейного регрессионного подхода при анализе стохастической модели временной эволюции ледового покрова СПШ за трёхдекадный временной период принципиально некорректным. Особенности стохастического режима временной эволюции арктического ледового покрова за период 1987–2014 гг. по данным микроволнового спутникового зондирования на основе алгоритма NASA TEAM 2. Дальнейшие исследования, предпринятые в 2017-2018 гг., подтвердили указанное утверждение при помощи продления нелинейной регрессионной кривой на 3–4 года «вперёд» и с последующим сопоставлением с экспериментальным данными по восстановлению минимальной площади СПШ за сентябрь месяц текущего года (рис. 3.1.6.1).

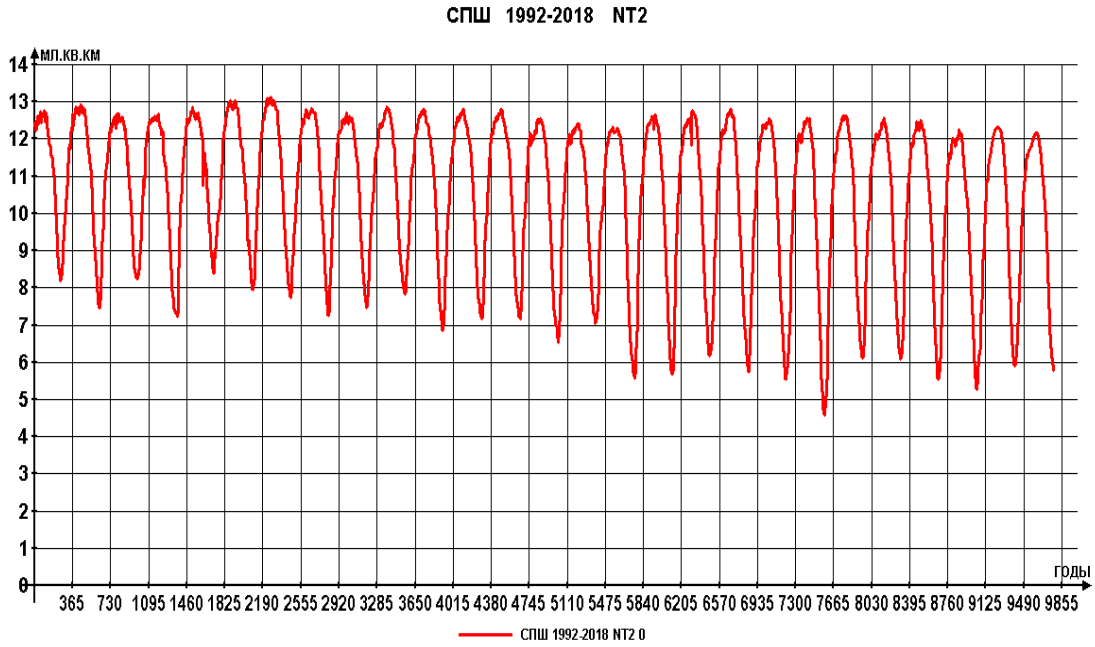


Рисунок 3.1 6.1 — Временная эволюция площади (в млн кв. км) ледового покрова СПШ за срок 1992–2018 год.

Произошедшее в сентябре 2012 г. сильное понижение минимальной площади СПШ до 4,5 млн. км2 (см. рис. 3.1.6.2.) вызвало оживлённые дискуссии в научной прессе с ожиданием быстрого наступления безледяного (летнего) сезона в Северном ледовитом океане, о котором так много говорили представители концепции «глобального потепления» и что следовало по методу линейного тренда. Однако глобальные циркуляционные процессы помешали этим прогнозам сбыться — в 2013 и 2014 гг. значение сентябрьских площадей СПШ резко подскочило и составило около 6,5 млн км2, и затем установилось в районе 6–6,5 млн км2.

При исследовании в 2018 г была предпринята попытка на основе линейного и нелинейного регрессионного анализа рассмотреть модель СПШ как сложную стохастическую систему. По данным многоканальных радиотепловых наблюдений, полученных со спутников программы DMSP — F08–F17, авторами накоплена многолетняя база данных (БД) GLOBAL-RT, постоянно обновляющаяся в отделе «Исследование Земли из космоса» ИКИ РАН. С использованием полярной версии этой БД были рассчитаны по алгоритму NASA Team 2 (NT2), широко используемому в зарубежной научной литературе, площади покрытия льдом Арктики для областей выше 60° с.ш. По анализу эволюции ледяного покрова Северной полярной шапки (СПШ) за период 1992–2018 гг. были вычислены средние значения площади морского льда для максимального (февраль) и минимального (сентябрь) значения за текущий сезон. Были построены несколько вариантов аппроксимации временных зависимостей минимальной площади морского льда за указанный период и вычислены регрессионные зависимости для полиномов Чебышева различных степеней от первой (модель «линейного тренда») до шестой. Установлено, что используемая в подавляющем большинстве работ строго линейная регрессия с отрицательным временным градиентом (модель «линейного тренда») для минимального сентябрьского значения снежно-ледового покрытия СПШ должна применяться в строго ограниченных временных пределах - с 1996г. по 2014г. В то же время, квадратичная регрессия (нелинейная модель) может быть использована только в пределах с 1992г. по 2018г.(рис. 3.1.6.2.). Это говорит о том, что ни одна из моделей не состоянии адекватно описать эволюцию СПШ. На основе корреляционного анализа авторы показали, что временная эволюция снежно-ледового покрова Арктики за период 1987 - 2040гг. относится к группе сложных стохастических систем, которые включают в себя, как детерминированные компоненты гармонического типа, так и случайные

составляющие с временем корреляции меньше одного года и в рассматриваемых условиях представляющие, по–существу, модель «белого» шума(рис.1.3.6.3) .

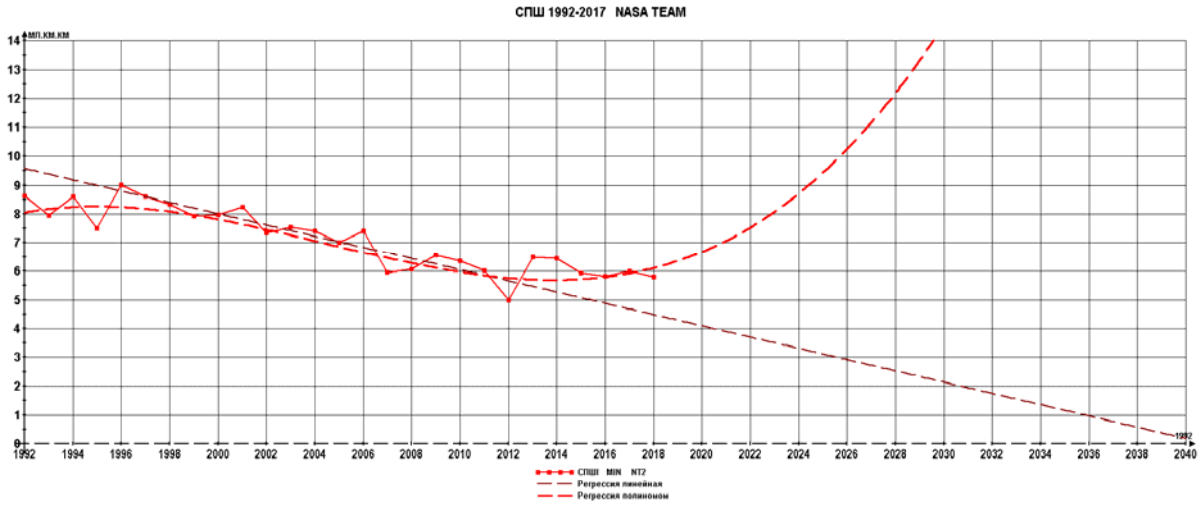


Рис.3.1.6.2. Линейная и нелинейная (квадратичная) аппроксимации минимального годового
значения (сентябрь) площади СПШ

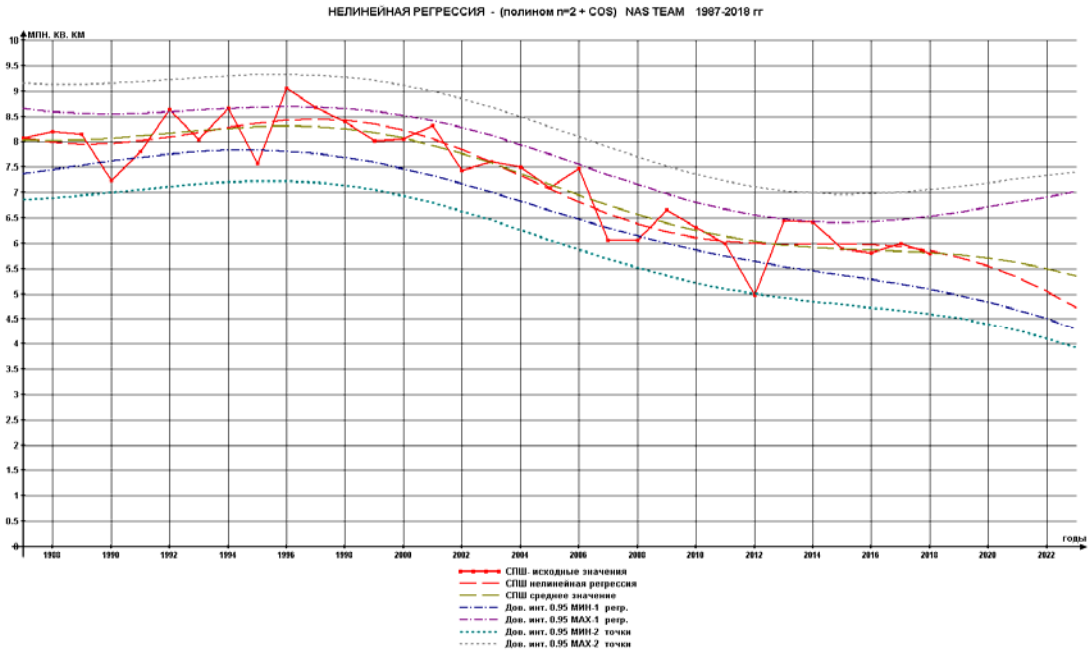


Рис.1.3.6.3. Комбинационная модель эволюции СПШ в интервале 1989-2025гг.

Это говорит о том, что комбинационный регрессионный анализ имеет большие потенциальные возможности для анализа статистических свойств сложных геофизических систем.

3.1.7. Разработка дифференциальных радиотепловых методов и технологического облика космической системы для определения высотных профилей температуры и влажности атмосферы, скорости и направления приповерхностного ветра по радиотепловым измерениям. (пункт 4.3.1.7 плана работ на 2018 г.)

Традиционно, для влажностного зондирования атмосферы по радиометрическим измерениям из космоса используется полоса частот с центром 183,31 ГГц. Эта полоса является наиболее сильной резонансной полосой поглощения водяного пара в микроволновом диапазоне. Сильное поглощение вблизи центра линии приводит к тому,

что до спутника практически не доходит излучение подстилающей поверхности, вклад которого усложняет задачу восстановления влажности. Однако это приводит к тому, что весовые функции этих каналов почти не чувствуют изменение концентрации водяного пара в нижних слоях атмосферы. На рис.3.1.7.1 представлены весовые функции для каналов современного радиометра SAPHIR Megha-Tropiques.

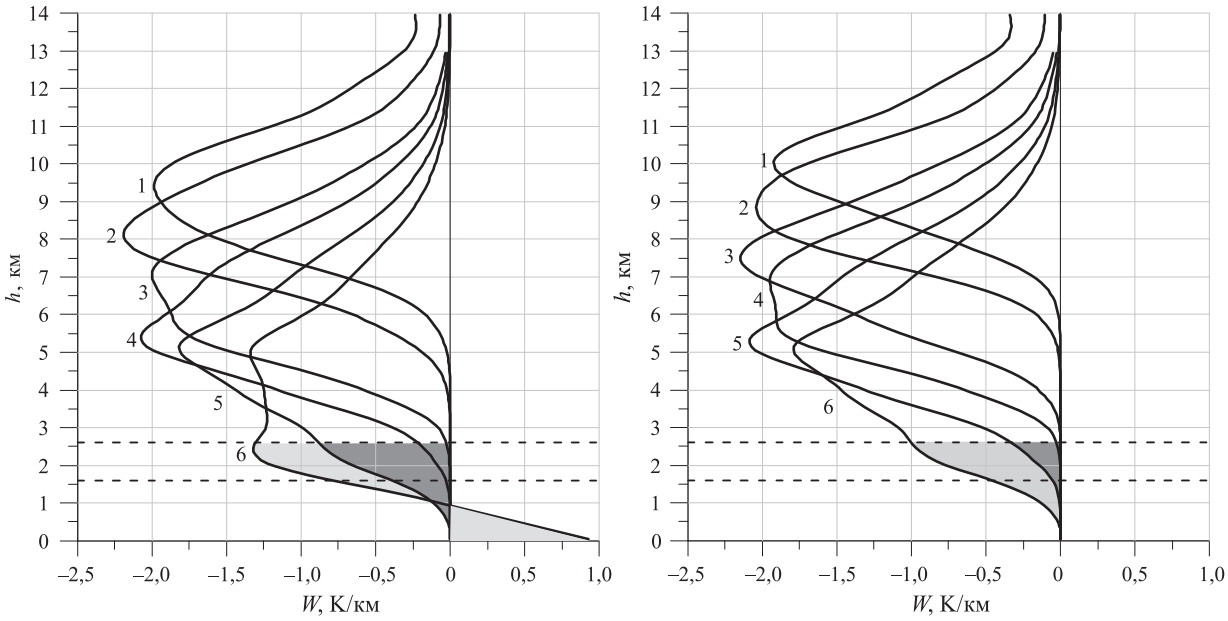
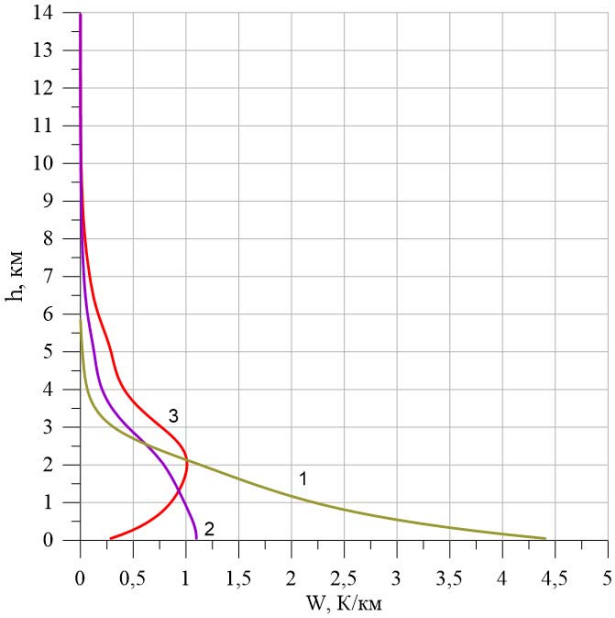


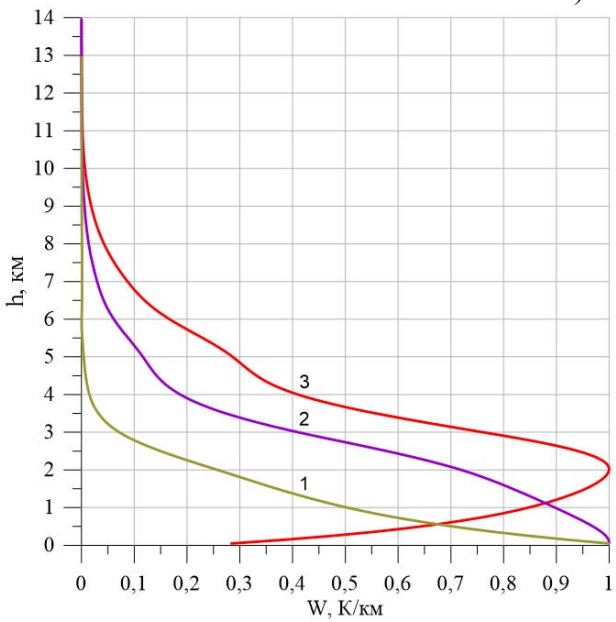
Рис. 3.1.7.1 - Весовая функция W(ν, h) для шести каналов прибора SAPHIR Megha-Tropiques характеризует чувствительность Tb(ν) к изменению относительной влажности в тонком слое (вертикальная поляризация, угол падения 55°, температура поверхности 300 К): а — стандартная тропическая атмосфера, интегральная влажность которой пропорционально уменьшена до 2,41 г/см2; б — стандартная тропическая атмосфера, интегральная влажность 4,1 г/см2

Из рисунка видно, что заштрихованные области на 5-м и 6-м каналах составляют малую часть от общего сигнала под соответствующей кривой. Следовательно, каналы 5 и 6 практически не чувствуют изменение влажности в нижних слоях атмосферы на высотах 0-2,6 км.

В ИКИ РАН в лаб. 553 разработаны новые дифференциальные методы восстановления профиля водяного пара именно в нижнем слое тропосферы. При этом используются разностные сигналы в окрестности полосы поглощения 22.235 ГГц. В этом методе, информационной величиной является разность яркостных температур, регистрируемых на двух частотах .



а)



б)

Рис. 3.1.7.2 - Чувствительность (весовые функции) дифференциальных радиометрических сигналов: 1- , 2- , ; а)-ненормированные весовые функции, б)- нормированные. Стандартная тропическая атмосфера, угол падения 45°.

Выбор пар частот для дифференциальных измерений в окрестности 22 ГГц проводился так, чтобы получить наилучшую избирательность к тому или иному слою нижней тропосферы и определялся по трём критериям. Первый - положение максимума дифференциальных весовых функций, набор которых должен перекрыть диапазон высот 0-4км. Второй критерий – минимальная ширина дифференциальной весовой функции, которая обеспечивает избирательность по высоте. Третий критерий заключается в стремлении к наибольшей величине дифференциального сигнала, от которого зависит требуемая чувствительность измерительных каналов радиометра.

На рис. 3.1.7.2 представлены весовые функции, которые на наш взгляд обладают хорошей избирательностью по высоте. На основе рисунка 3.1.7.2а можно оценить величину сигнала в кельвинах, а из рисунка 3.1.7.2б наглядно видны весовые вклады различных слоёв в различные измерительные каналы. Расчёты проводились для стандартной тропической атмосферы при следующих параметрах: угол падения 45˚,температура воздуха у поверхности – 300 К, влажность – 19,0 г/м3, давление – 1013 мб, интегральная влажность – 41,4 кг/м2, температура поверхности 300 К.

Математическое моделирование задачи по восстановлению профиля водяного пара показало, что совместное использование традиционных частотных каналов в полосе 183 ГГц и дифференциальных измерений в полосе 22,235 ГГц позволяют более чем в два раза повысить точность восстановления водяного пара в нижних слоях тропосферы от 0 до 3 км.

Для определения скорости и направления ветра над поверхностью океана используются радиоизмерения восходящего излучения системы океан-атмосфера в «окнах прозрачности» атмосферы. К ним относятся частоты порядка 10,65, 18,7 и 36,5 ГГц, которые широко используются в практике дистанционного зондирования в микроволновом диапазоне.

Для восстановления скорости ветра U10 часто используют корреляционно-статистический подход, основанный на составлении регрессионных соотношений между измеренным радиоизлучением на разных частотах и поляризациях и скоростью приводного ветра. Проведены работы по составлению и анализу различных регрессионных соотношений, применяемых для восстановления скорости ветра. Одно из таких соотношений имеет вид:

$$U_{10} = A_1 + A_2 \cdot T_{10.65V} + A_3 \cdot T_{18.7V} + A_4 \cdot T_{36.5V} + A_5 \cdot T_{10.65H} + A_6 \cdot T_{18.7H} + A_7 \cdot T_{36.5H} +$$
$$+ A_8 \cdot (T_{10.65V})^2 + A_9 \cdot (T_{18.7V})^2 + A_{10} \cdot (T_{36.5V})^2 + A_{11} \cdot (T_{10.65H})^2 + A_{12} \cdot (T_{18.7H})^2 + A_{13} \cdot (T_{36.5H})^2.$$

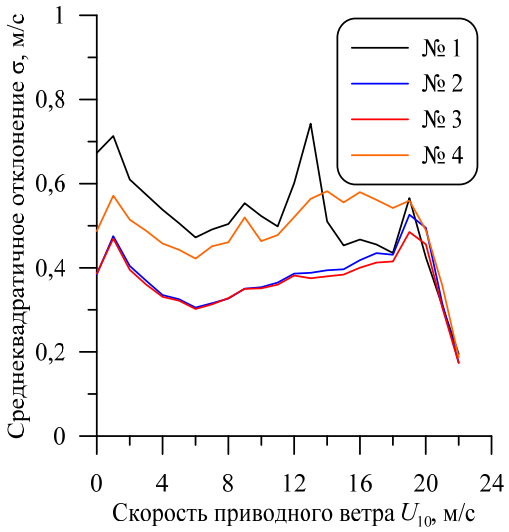


Рис. 3.1.7.3 - Среднеквадратичное отклонение скорости ветра, рассчитанной по четырем анализируемым регрессионным соотношениям.

Из рис. 3.1.7.3. очевидно, что СКО для U10 в регрессиях по функциям №№ 2 и 3 практически не отличаются и составляют уровень ~0,4 К во всем интервале скоростей ветра, и следовательно нет смысла усложнять модель регрессии и использовать объясняющие переменные в третьей степени. Таким образом, можно составить регрессионное соотношение, используя частоты 10,65, 18,7 и 36,5 ГГц, для восстановления U10, при этом адекватный результат дает регрессия № 2 в которой объясняющие переменные имеют показатели степени 1 и 2. Анализ погрешностей показал, что скорость ветра по радиополяриметрическим измерениям может быть определена с абсолютной точностью порядка 1,2 м/с в диапазоне скоростей 1-20 м/с.

Возможность определения направления ветра по радиометрическим измерениям основывается на эффекте азимутальной анизотропии микроволнового излучения взволнованной водной поверхности. Данный эффект заключается в зависимости измеренной радиояркостной температуры от угла между направлением ветра и направлением зондирования. Установлено, что наибольшее влияние анизотропия

излучения поверхности оказывает на третий параметр Стокса S2, который представляет собой разность яркостных температур на линейных ±45º поляризациях : . При этом величина анизотропного вклада зависит как от частоты излучения, так и от модуля скорости ветра U10. Азимутальная зависимость третьего параметра Стокса S2 определяется нечетной квазигармонической функцией вида: .
Анализ данной функции показал, что по одному измерению радиояркостных температур определить направление ветра невозможно, поэтому большинство радиометрических приборов спутникового базирования, обладающих коническим сканированием с одной полосой обзора, не пригодны для восстановления направления ветра. Предложен алгоритм определения направления ветра по радиополяриметрическим измерениям, который работает в двух полосах обзора радиометра (рис.3.1.7.4).

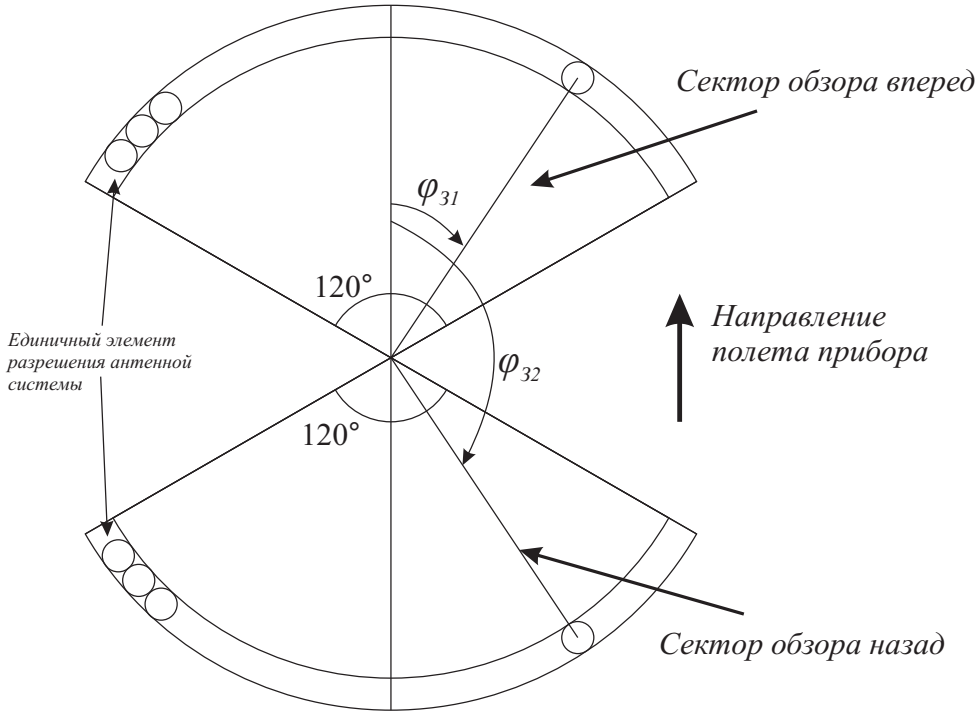


Рис. 3.1.7.4 - Геометрия зондирования одних и тех же элементов поверхности при движении спутника вдоль трека.

Моделирование обратной задачи – восстановления направления ветра, основывалось на результатах прямой задачи, в которые были внесены шумы аппаратуры и модели. Несмотря на высокий уровень шумов радиометра, который составлял 0,5-0,8 К и относительно невысокий уровень «полезного» анизотропного сигнала, составляющего 0,5-1,5 К корреляция между исходным и восстановленным направлением ветра составила 0,995. Погрешность восстановления направления ветра при скоростях более 3 м/с в 80% случаев не превысила ±10°, что превышает параметры существующих методов измерения (±20 – 40°).

3.1.8. Исследование оптических постоянных компонентов межпланетной и межзвездной пыли, а также грунтов и аэрозолей планет, в микроволновом диапазоне (дополнительный пункт к плану работ на 2018г).

Работа выполнялась совместно с УНРЦ МПГУ (г.Москва).

Важными компонентами грунтов Земли, Марса, Луны и других тел Солнечной системы являются различные окислы железа. К ним относятся такие распространенные на Земле минералы, как магнетит (Fe3O4) и гематит (Fe2O3). Эти минералы непрозрачны в видимом диапазоне, с полуметаллическим блеском, относительно хорошо проводят тепло

и электричество. Магнетит и гематит входят в состав грунтов и атмосферной аэрозоли планет, а также межпланетной пыли и пылевых образований в межзвездной среде.

Оптические постоянные окислов железа в видимом диапазоне исследованы достаточно подробно, поскольку они используются в минералогии в качестве диагностических признаков. Освоение космического пространства и исследование планет Солнечной системы, а также межзвездной среды способствовало изучению оптических характеристик окислов железа в ультрафиолетовом (УФ), видимом и инфракрасном (ИК) диапазонах.

Микроволновый диапазон (по сравнению с УФ, видимым и ИК) открывает принципиально новые возможности в исследовании Земли и других объектов Солнечной системы дистанционными методами. Активные и пассивные приемники микроволнового диапазона используются для изучения поверхностей и атмосфер планет, пылевых облаков, а также межзвездного пространства. Одной из проблем, препятствующих развитию этого направления, является отсутствие до настоящего времени достоверных знаний об оптических характеристиках окислов железа, в микроволновом диапазоне.

Результаты:

1) Выполнены лабораторные измерения отражательной и пропускательной способности плоскопараллельных образцов гематита и магнетита в диапазоне частот 12-145 ГГц.

2) Разработан метод определения комплексного показателя преломления минералов в микроволновом диапазоне из экспериментальных данных спектральной зависимости отражательной и пропускательной способности образцов.

3) Из данных лабораторного эксперимента рассчитаны частотные зависимости оптических постоянных гематита и магнетита в диапазоне 12-145 ГГц.

4) На основе проанализированной научной и справочной литературы построены спектральные зависимости отражательной способности гематита и магнетита в диапазоне от дальнего ИК до экстремального УФ.

5) По методу Крамерса-Кронига вычислены значения действительной и мнимой части комплексного показателя преломления для гематита и магнетита в диапазоне частот 12-145 ГГц.

6) Подтверждены и уточнены результаты, полученные в ходе лабораторных исследований. Смотри рис. 3.1.8.1.

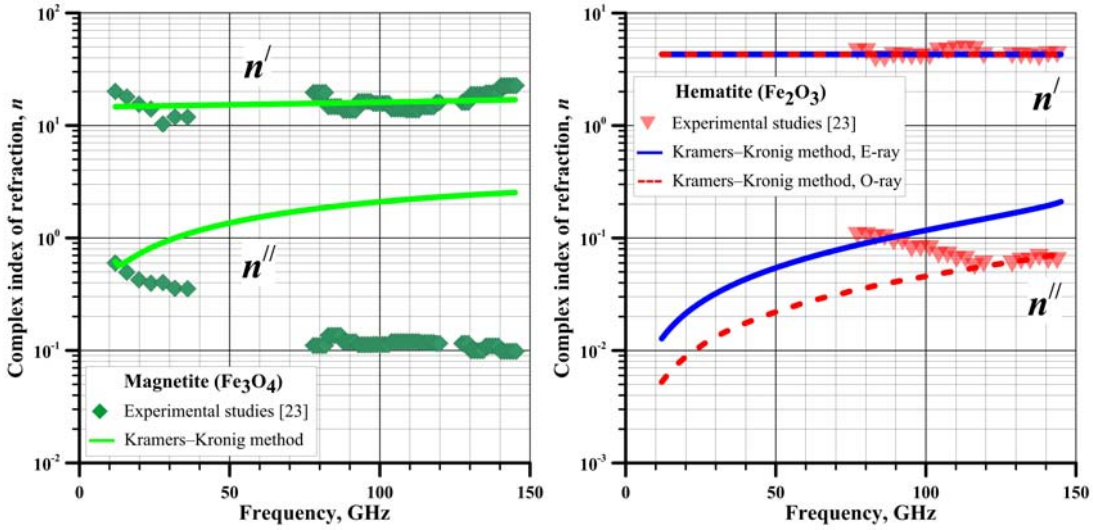


Рис. 3.1.8.1.Экспериментальные (символы) и расчетные (линии) значения n’ и n” для магнетита и гематита.

3.2 Разработка научных подходов к организации дистанционного мониторинга природных катастрофических явлений, риска их возникновения и их последствий (ураганов, извержения вулканов, землетрясений и др.) (пункт 4.3.2 плана работ на 2018 г.)

3.2.1 Создание научных баз данных глобального тропического циклогенеза за 1983 -2020гг. и базы радиотепловых данных за 1987-2019гг. модернизированных микроволновых комплексов по программе DMSP и последующих программ. (пункт 4.3.2.1 плана работ на 2018 г.)

Сформирована научная база данных глобального тропического циклогенеза за 2005–2018 гг. на основе специального препроцессинга (предварительной обработки) исходных «сырых» данных для задач изучения изменчивости климатических параметров планеты. Блок базы данных за 2005–2018 гг. сформирован на основе ежесуточной информации, полученной из интернета с сайта Joint Typhoon Warning Center (Stennis Space Center, MS, NOAA) и сайта National Hurricane Center (Maiami, FL, NOAA). Принципиальной особенностью тропического циклогенеза за 2018 г. стал циклогенезис Северной Атлантики с последовательной генерацией целой серии сильнейших за последние десятилетия в земной атмосфере тропических циклонов. Общее число ТЦ и ТВ в Северной Атлантике составило 15 метеообъектов различной интенсивности. Так, в сентябре-октябре 2017 г. в Северной Атлантике серия ТЦ состояла из семи ТЦ: ТЦ Harvey; ТЦ Irma (минимальное давление в глазе ТЦ составило P = 914 мб; азимутальное максимальное значение скорости ветра составило V = 83 м/с; 5 категория по шкале Saffir-Simpson); ТЦ Jose (P = 938 мб; V = 70 м/с; 4 категория по шкале SS); ТЦ Katia (P = 946 мб; V = 46 м; 4 категория); ТЦ Lee; ТЦ Maria (P = 916 мб; V = 78 м/с; 5 категория). Сотрудники отдела исследования Земли из космоса предпринимают активные попытки детального анализа термодинамического состояния тропической зоны Атлантики с целью распознавания причин такого мощного циклогенеза. Также это обстоятельство привлекло пристальное внимание многих специалистов-климатологов и послужило рождению целого ряда гипотез о возможном изменении глобальных циркуляционных процессов в системе океан-атмосфера.

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 продолжалось и в 2018 г. В 2018 г. было продолжено формирование, накопление и подготовка к тематической обработке частной научной базы данных POLE-RT-Fields, созданной на основе разработанной в отделе исследования 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-F18) — за период с 1987 по 2018г. 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 Антарктиде.

3.2.2 Разработка научных подходов и методов к организации мониторинга вулканической активности с помощью современных систем и технологий спутниковых наблюдений. В том числе разработка новых методов в оценки характеристик извержений на основе комплексного анализа результатов

математического моделирования динамики распространения пепловых шлейфов и данных спутниковых наблюдений (совместно с ИВиС ДВО РАН и ВЦ ДВО РАН) (пункт 4.3.2.2 плана работ на 2018 г.)

3.2.2.1. Разработка подходов оценки высот пепловых шлейфов вулканов в информационной системе дистанционного мониторинга активности вулканов Камчатки и Курил «VolSatView»

Начиная с 2017-го года, в ИКИ РАН ведутся работы по разработке и внедрению в информационную систему дистанционного мониторинга активности вулканов Камчатки и Курил «VolSatView» (http://volcanoes.smislab.ru) методов оценки высоты верхней границы облаков вулканического пепла по данным спутников различных разрешений.

В 2017-ом году реализован метод получения высоты облака вулканического пепла с использованием данных, полученных по метеорологическим прогнозам и спутниковой информации. С помощью этого метода, основанного на предположении, что радио-яркостная температура, полученная по спутниковым данным, соответствует температуре атмосферы на определенной высоте, для каждого конкретного извержения удалось оценить максимальную высоту, на которой распространялся выброшенный в атмосферу вулканический пепел.

В 2018-ом году разработан и реализован принципиально новый метод для оценки высоты верхней границы облака вулканического пепла – оценка по «стереопаре». Этот метод основан на эффекте параллакса, когда облако на определенной высоте над поверхностью Земли будет иметь разные координаты на снимке с геостационарного и с низкоорбитального спутников за счет разных углов съемки. В 2018 в информационную систему был добавлен инструмент, позволяющий рассчитывать высоту верхней границы облака по псевдоодновременным парам спутниковых снимков.

Таким образом, на данный момент в информационной системе имеется две основных возможности проведения оценок высоты верхней границы пепловых шлейфов: оценка с использованием данных, полученных по метеорологическим прогнозам и спутниковой информации и оценка по стереопаре на основе сравнения наблюдений, полученных по данных геостационарных и низкоорбитальных спутников.

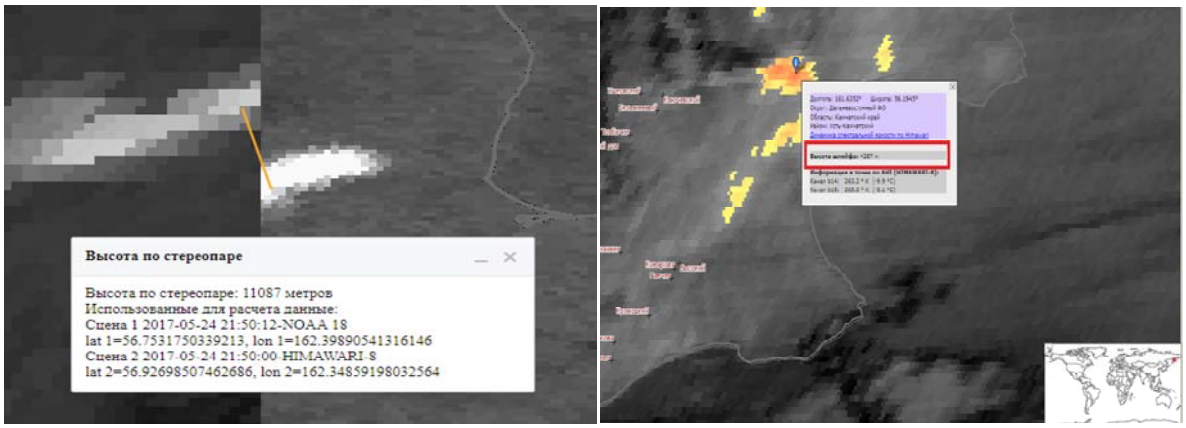


Рис. 3.2.2.1.Пример расчета высоты верхней границы в конкретной точке облака вулканического пепла по «стереопаре» и по метеорологическому прогнозу

3.2.2.2 Разработка подходов сравнение информации о пепловых шлейфах вулканов, получаемой на основе численного моделирования и обработки спутниковых данных

В информационной системе (ИС) «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил (VolSatView)» доступна визуализация результатов численного моделирования распространения пепловых шлейфов на основе модели PUFF, выполняемого в автоматизированной ИС «Сигнал». Проделанная работа была направлена на разработку критерия достоверности результатов такого моделирования на основе их сравнения с данными спутниковых наблюдений.

Был разработан алгоритм, позволяющий в автоматическом режиме провести такую оценку. Он заключается в следующем. После проведения моделирования распространения пеплового шлейфа берутся результаты всех его состояний (моментов времени), представляющие собой массивы частиц пепла, для каждой частицы определены координаты и высота над уровнем моря. Также для каждого состояния моделирования подбираются ближайшие спутниковые данные из разных систем (NOAA, AQUA, TERRA, Suomi NPP, HIMAWARI-8) с помощью возможностей Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг». Для этой задачи был разработан алгоритм поиска и получения спутниковых данных. Затем в спутниковых данных выделяются пиксели, содержащие результаты моделирования, то есть в некотором виде определяется контур пеплового облака по данным модели. Для каждого пикселя рассчитывается высота по модельным и спутниковым данным. Далее рассчитываются различные численные характеристики для всех пикселей в этом состоянии и общие характеристики для всего моделирования. Среди них можно выделить среднюю и максимальную высоты пепла над уровнем моря и некоторые вероятностные характеристики. Затем проводится сравнение численных метрик, полученных по модельным данным с метриками, рассчитанными по спутниковым данным, представляющих собой эталонные значения, рассчитываются отклонения от эталонных значений.

Разработанный алгоритм позволит в дальнейшем в автоматическом режиме уточнить начальные параметры модели и таким образом адаптировать её под решаемые задачи, чтобы на выходе иметь результаты прогноза распространения пеплового шлейфа по модельным данным, максимально приближенные к реальности.

Заключение

Результаты, представленные в настоящем разделе, показывают, что работы по соответствующим пунктам плана работ ИКИ РАН на 2018 г. выполнены.

РАЗДЕЛ 4 МОНИТОРИНГ-ОКЕАН

Введение

В 2018 году в рамках работ по теме «Мониторинг» были запланированы следующие работы:

- Разработка и экспериментальная проверка методик радиолокационных исследований нелинейных волновых процессов в мелководных прибрежных зонах на основе современных радиолокационных и скаттерометрических микроволновых комплексов.
- Разработка методик и проведение экспериментальных исследований нелинейной динамики спектральных компонент морского волнения методами пассивной и активной радиополяриметрии для решения задач экологического мониторинга**.**
- Разработка и создание микроволнового радиометрического комплекса нового поколения для измерения параметров океана и атмосферы**.**
- Разработка научных основ совместного использования новейших микроволновых и оптических сенсоров космического базирования для оценки изменения экологического состояния морских акваторий, включая арктические регионы.
- Совершенствование и апробация методов количественной оценки параметров гидродинамических процессов в верхнем слое океана и в приводном слое атмосферы на основе многолетних данных дистанционного зондирования из космоса.
- Создание радиолокационного комплекса для мониторинга волновых полей, течений и батиметрии в прибрежной зоне.
- Создание комплекса океанологических приборов для проведения подспутниковых экспериментов.

Настоящий раздел посвящён описанию основных результатов, полученных при выполнении данных работ. Полученные в рамках работ 2018 года результаты также изложены в основных публикациях [8-12, 18, 19, 33, 34, 64-70, 75, 76, 108-110, 178, 192-197, 199-202].

4.1 Разработка и экспериментальная проверка методик радиолокационных исследований нелинейных волновых процессов в мелководных прибрежных зонах на основе современных радиолокационных и скаттерометрических микроволновых комплексов. (пункт 4.4.1 плана работ на 2018 г.)

В 2018 году были продолжены работы по разработке и совершенствованию применения методов дистанционного зондирования, в том числе модернизированного двухполяризационного радиолокатора высокого разрешения 3-см диапазона для комплексных измерений состояния морской поверхности – полей течения и поверхностного волнения, батиметрии в прибрежной мелководной зоне. Для оценки точности измерений и выбора оптимальных алгоритмов обработки проводилось цифровое моделирование исследуемых процессов и процедур восстановления измеряемых параметров, сравнительный анализ данных, полученных при работе локатора в традиционном режиме кругового обзора и в режиме предложенного модернизированного метода с неподвижной антенной. В качестве экспериментальных данных использовалась база данных, полученных в натурных экспериментах 2010 -2013 годов. Проводилось валидация данных дистанционного зондирования и контактных измерений. По результатам радиолокационных измерений были построены карты полей течений и карта глубин в Голубой бухте и прилегающей акватории.

4.2 Разработка методик и проведение экспериментальных исследований нелинейной динамики спектральных компонент морского волнения методами пассивной и активной радиополяриметрии для решения задач экологического мониторинга (пункт 4.4.2 плана работ на 2018 г.)

Одним из результатов, полученных в предыдущие годы, была демонстрация значительного разброса амплитуды спектральных компонент гравитационно-капиллярных волн, соответствующих одинаковым значениям модуля скорости приповерхностного ветра. Было показано, что регистрируемые значения амплитуды могут изменяться в пределах ±200% от ожидаемых. Детальный анализ накопленных экспериментальных данных, с целью выявления причин данного явления, был одной из задач 2018 года. Следует подчеркнуть, что приведенные ниже замечания носят характер гипотез ввиду малой статистической обеспеченности и требуют дальнейших доказательств после накопления достаточного объема экспериментальных исследований.

Как видно из представленных на Рис.4.2.1 зависимостей, восстановленные мгновенные значения амплитуд спектральных компонент волнения (черные точки) могут иметь значительный разброс даже в соседних, двадцатиминутных интервалах проведения измерений. В связи с этим, временные зависимости амплитуды спектральных компонент волнения были подвергнуты операции сглаживания гауссовым окном, имеющим ширину около 1,5 часа с дисперсией 0,5. Подобному преобразованию были подвергнуты все имеющиеся результаты измерений за 2005 - 2018 года и относящиеся к спектральным компонентам волнения в диапазоне 0,39 - 40,0 рад/см.

Анализ полученных зависимостей позволил отметить ряд особенностей в поведении отдельных компонент волнения в натурных условиях.

Так, например, был исследован вопрос о скорости возрастания амплитуды выделенных волновых гармоник. Для анализа были отобраны только те временные интервалы, в ходе которых наблюдалось постепенное нарастание интенсивности ветрового потока. Можно отметить, что скорость роста амплитуды отдельных компонент волнения варьируется в широких пределах. Также можно выделить следующие очевидные факторы, определяющие ее величину: скорость роста ветрового потока, его начальное и конечное значения, длительность ветрового воздействия, направление ветрового потока относительно существующей системы волнения и т.д. Перечисленные параметры имеют сложный характер влияния на амплитуду гармонических составляющих волнения и выявление этих закономерностей будет возможно после накопления достаточного объема экспериментальных данных. Несмотря на это, основываясь на уже полученных результатах, можно отметить, что скорость роста спектра кривизны для волновых компонент, соответствующих различающимся волновым числам оказывается различной. Данный факт подтвержден экспериментально и, сам по себе, не является новым, поскольку объясняется самой формой спектра кривизны. Однако, в отличие от известных модельных представлений, зависимость амплитуды этих компонент от величины ветрового потока, отлична от линейной.

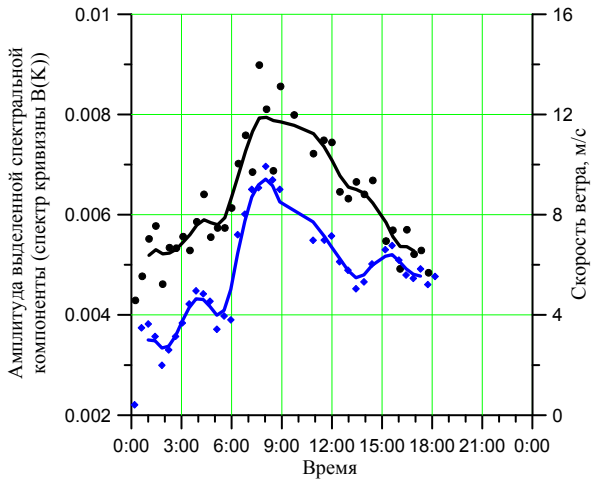
Кроме этого, результаты анализа свидетельствуют о наличии некоторого предельного значения скорости роста спектральных компонент волнения. Можно показать, что величина предельной скорости роста амплитуды также является функцией волнового числа. Наличие указанного предела оказывается аналогом предположения о существовании временной задержки между действием ветрового потока и откликом поверхности, проявляющимся в изменении ее геометрии.

Также, на примере экспериментальных данных можно показать, что ограничение ветрового потока с последующей фиксацией достигнутого значения сопровождается постепенным ростом амплитуды спектральных гармоник вплоть до состояния "насыщения",

т.е. до достижения тех значений, которые соответствуют состоянию условно "развитого" волнения, предсказываемого различными моделями ветрового волнения (Рис. 4.2.2).

Все перечисленные факты, во-первых, дают объяснение причин разброса амплитуд различных волновых компонент, регистрируемых при фиксированной скорости ветра. Т.е. обнаружение спектров с заниженными значения амплитуды для данной скорости ветра, может быть частично объяснено существованием временной задержки между мгновенными значениями ветрового потока и регистрируемыми в этот момент значениями спектра гравитационно-капиллярных волн. Следует отметить, что снижение амплитуд отдельных гармоник также обладает некоторой инертностью по отношению к уменьшению интенсивности ветрового потока. При этом, при сравнимых значениях скорости роста и падения интенсивности ветрового потока, модуль производной амплитуды спектра кривизны по времени оказывается ниже для случая уменьшения скорости ветра. Сам по себе данный факт требует более детального анализа в будущем, а в рамках рассматриваемой проблемы служит объяснением наличия спектральных функций с завышенными значениями относительно ожидаемых.

Во-вторых, совместное рассмотрение трех отмеченных особенностей поведения спектральных компонент волнения в области гравитационно-капиллярных волн (нелинейный характер зависимости амплитуды различных спектральных компонент волнения от скорости ветра, существование предела скорости роста этих компонент и достижение состояния "насыщения" при фиксированном значении скорости ветра) дают основание полагать, что продолжение исследований в данном направлении позволит экспериментально подтвердить существование межволновой передачи энергии и в коротковолновой части спектра ветрового волнения.



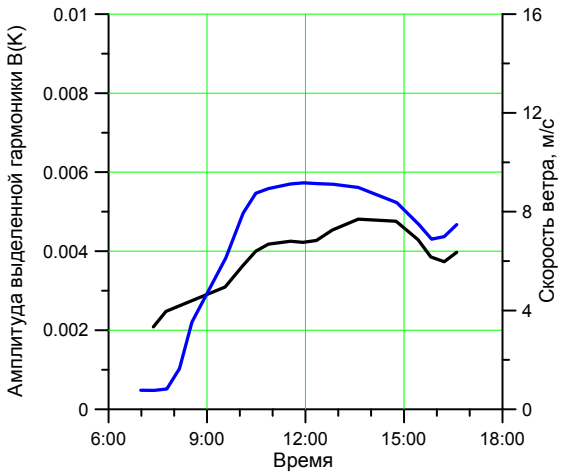


Рис. 4.2.1 - Временная зависимость амплитуды спектральной компоненты на фоне изменения скорости приповерхностного ветра. Рис. 4.2.2 - К вопросу роста амплитуды спектральных компонент при неизменном значении интенсивности ветрового воздействия. Синяя линия - скорость ветра, черная - амплитуда спектра кривизны для волнового числа 7,22 рад/см.

4.3 Разработка и создание микроволнового радиометрического комплекса нового поколения для измерения параметров океана и атмосферы. (пункт 4.4.3 плана работ на 2018 г.)

В рамках темы по разработке микроволнового комплекса нового поколения проводилась работа по созданию облика микроволнового сканера для решения задач мезомасштабного переноса скрытого тепла и массообмена в системе океан-атмосфера как для тропической зоны, так и для зоны средних широт и полярных регионов. В ходе работы был обоснован облик российского микроволнового сканера (радиометр-спектрометр на частоты 10,65… 200 ГГц)

нового поколения (МИРС), основной задачей которого является получение основных метеорологических параметров системы океан-атмосфера в глобальном масштабе, что необходимо для прогноза погоды и предсказания опасных явлений. Наряду с определением интегральных характеристик влажности и водозапаса капельной влаги тропосферы, интенсивности выпадающих осадков и температуры поверхности, МИРС позволяет восстанавливать скорость и направление приповерхностного ветра, а также трёхмерные поля водяного пара и температуры в тропосфере, проводить оценки горизонтальной адвекции и конвективных потоков скрытого тепла на различных высотах.

В России на сегодняшний момент нет действующего микроволнового радиометра, работающего на орбите и нет собственного всепогодного источника глобальной метеорологической информации, в то время как в мире работают 27 аналогичных комплексов. Создание и запуск на орбиту комплекса МИРС обеспечит метеорологическую независимость России.

Наряду с традиционными отработанными методиками в радиометре МИРС ИКИ планируется применить новые методы поляриметрических измерений и восстановления детальных профилей водяного пара, основанные на использовании дифференциальных измерений в линии поглощения водяного пара 22,235 ГГц, вместе с традиционными измерениями в линии 183,31 ГГц. Это обеспечит возможность получения новых научных результатов о динамике зарождения и развития опасных явлений типа тропических циклонов и ураганов, создать модели, предсказывающие эти опасные явления.

На этапе разработки облика микроволнового радиометра-спектрометра МИРС был выполнен значительный объём теоретических исследований, обосновывающий возможность решения задачи получения необходимых параметров океана и атмосферы. Был проведен проведён анализ мирового опыта в области методов и подходов, используемых при решении этих задач на основе радиометрических измерений из космоса. Были отработаны алгоритмы определения основных метеорологических параметров, обоснованы ожидаемые погрешности измерений, проведено всестороннее компьютерное моделирование различных методов решения этих задач. На основе выполненных исследований выбран и обоснован оптимальный набор радиометрических каналов для определения основных метеорологических параметров. Предложена и обоснована методика проведения микроволнового зондирования и геометрия сканирования поверхности Земли. Разработана и оптимизирована конструкция микроволнового радиометра-спектрометра МИРС с предельной чувствительностью в диапазоне 10,65…200 ГГц. Было продемонстрировано, что возможно решение поставленных задач со следующими точностями:

– высокоточные измерения абсолютных радиояркостных температур в диапазоне 10,65…200 ГГц с точностью не хуже 1 К;

– измерение интегрального содержания атмосферного водяного пара от 10 до 80 кг/м2 с относительной погрешностью не более 10 %;

– восстановление профилей влажности тропосферы на 8–10 уровнях с относительной погрешностью не более 20 %;

– восстановление профилей температуры тропосферы на 8–10 уровнях со среднеквадратической погрешностью не более 3 К;

– измерение интегрального содержания капельной влаги атмосферы в интервале 0…0,5 кг/м² с абсолютной погрешностью не более 0,05 кг/м² и в интервале 0,5…2 кг/м² с относительной погрешностью не более 10 %;

– измерение интенсивности осадков в пределах 0…20 мм/ч. В интервале 0 — 5 мм/ч с абсолютной погрешностью не выше 0,7 мм/ч и в интервале 5…20 мм/ч с относительной погрешностью не более 15 %;

– измерение температуры поверхности океана (ТПО) с абсолютной точностью не хуже 1 К и относительной погрешностью между соседними элементами разрешения не более 0,2 К;

– измерение скорости ветра над морской поверхностью с точностью не хуже 2 м/с по величине и 20° по направлению;

Впервые в мировой практике, предлагается решить проблему послойного зондирования водяного пара в атмосфере в диапазоне высот 0…10 км на 8–10 уровнях, включая нижние слои тропосферы 0…3 км. В этих слоях находится большая часть водяного пара и именно нижний слой тропосферы играет основную роль в формировании атмосферных катастроф, таких как тропические циклоны. Для этого предложено использовать новый дифференциальный метод восстановления профиля водяного пара в слое 0…3 км, основанный на применении дополнительных (по сравнению с определёнными в ТЗ) каналов в полосе линии поглощения водяного пара 22,235 ГГц, в сочетании с традиционным каналом на линии поглощения водяного пара 183,31 ГГц, для восстановления профиля водяного пара на высотах более 3 км.
Профиль температуры атмосферы предлагается определять по частотным каналам в окрестности 55 ГГц.
Конструкция МИРС предполагается с учётом конического сканирования и системы абсолютной калибровки, в которую входят зеркало холодного космоса (ЗХК), переотражающее «реликтовое» космическое излучение с яркостной температурой 2,7 К и бортовой широкоапертурный излучатель (БШИ) с яркостной температурой 230…340 К с коэффициентом излучения не менее 0,999. На рис.1 приведено изображение радиометра-спектрометра МИРС.

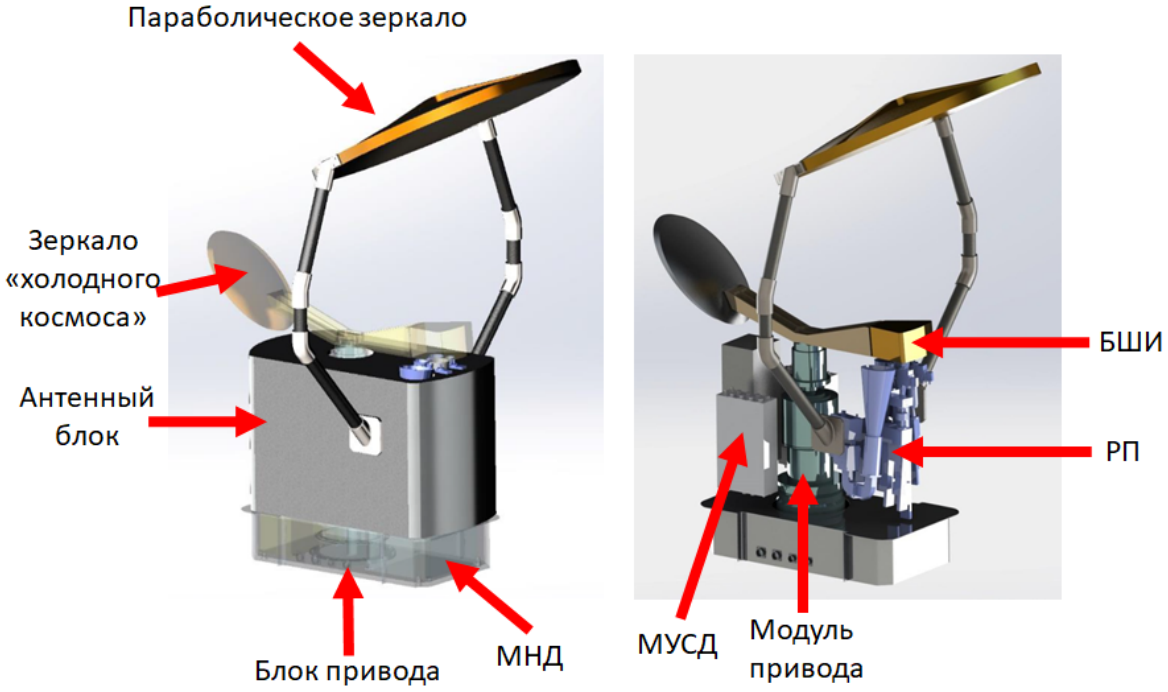


Рис. 4.3.1 - Внешний вид микроволнового радиометра-спектрометра (МИРС)

4.4 Разработка научных основ совместного использования новейших микроволновых и оптических сенсоров космического базирования для оценки изменения экологического состояния морских акваторий, включая арктические регионы (пункт 4.4.4 плана работ на 2018 г.)

С 2014 г., когда Европейское космическое агентство начало свою программу запусков спутников серии Sentinel, появилась возможность получать спутниковые данные над одним и тем же районом с высоким временным разрешением. В настоящее время на орбите находится 6 спутников серии Sentinel, оснащенных следующими приборами: SAR-C Sentinel-1A, SAR-C Sentinel-1B, MSI Sentinel-2A, MSI Sentinel-2B, OLCI Sentinel-3A, OLCI Sentinel-3B. В совокупности с другими имеющимися приборами дистанционного зондирования Земли, предоставляющими информацию в свободном доступе, при благоприятном расположении

орбит можно получить последовательность восьми изображений одного района, снятую различными спутниковыми сенсорами с временными интервалами от 12 минут до 12 часов. Такая последовательность спутниковых изображений позволяет восстанавливать не только пространственные, но и динамические характеристики различных процессов и явлений, в частности скорости и направление их распространения. Работа с новейшими данными микроволновых и оптических сенсоров потребовала разработки научных основ совместного использования новейших микроволновых и оптических сенсоров космического базирования. В 2018 г. основное внимание уделялось методам совместного анализа данных радиолокаторов с синтезированной апертурой, установленных на спутниках Sentinel-1A и Sentinel-1B, и мультиспектральных сенсоров MSI, установленных на спутниках Sentinel-2A и Sentinel-2B. Совместно со специалистами отдела Технологии спутникового мониторинга усовершенствована методика и разработаны инструментарии информационной системы «See The Sea» (STS) для обработки и совместного анализа большого потока ежедневных данных, получаемых в микроволновом и оптическом диапазонах электромагнитного спектра. Разработанная методика в 2018 г. применялась для решения следующих экологических задач: выявление источника пониженного рассеяния на радиолокационных изображениях южной части Черного моря в июне 2017 г., мониторинга возможных загрязнений в районе нефтяной платформы «Приразломная», локализации вихревых структур в юго-восточной части Балтийского моря.

На основе серии из трех радиолокационных изображений (РЛИ), полученных 8-9 июня 2017 г. в южной части Черного моря вблизи Турецкого побережья было доказано, что темные пятна пониженного рассеяния на РЛИ не могут являться проявлениями нефтяных загрязнений, так как за 36 часов наблюдений пятно оставалось практически на одном месте, несколько изменяя свою форму под действием сначала западного ветра (8 июня), а потом усилившегося до 10-15 м/с юго-восточного ветра (9 июня) (рис. 4.4.1). Нефтяные загрязнения, находясь в воде, достаточно быстро подвергаются испарению, эмульгированию и диспергированию. За 36 часов интенсивность модуляции обратно рассеянного сигнала практически не изменилась, что для нефтяных пленок не может быть ни при каких условиях, а тем более при резком усилении ветра. Такая ситуация гипотетически была бы возможна, если бы происходило постоянное поступление нефти, как это наблюдалось после аварии в Мексиканском заливе в 2010 г. Катастрофического разлива нефти 8-9 июня 2017 г. у берегов Турции не произошло, данный район не содержит подводных метановых сипов и тем более подводных грифонов. Единственно разумное объяснение данного явления – это проявление скоплений водорослей, что косвенно подтверждалось и спутниковыми данными оптического диапазона.

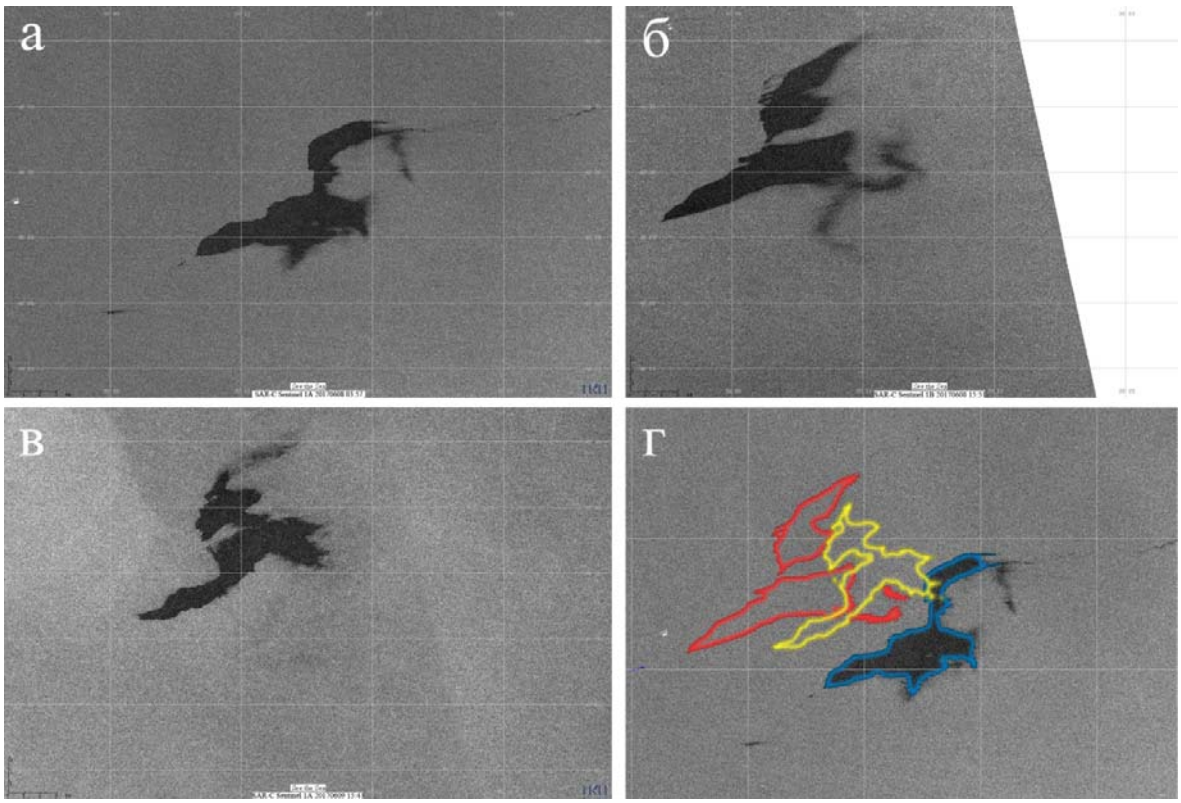


Рисунок 4.4.1 - Проявление скоплений водорослей в южной части Черного моря на РЛИ: а) SAR-C Sentinel-1A от 8 июня 2017 г., 03:57:38 UTC; б) SAR-C Sentinel-1B от 8 июня 2017 г., 15:51:21 UTC; в) SAR-C Sentinel-1A от 9 июня 2017 г. 15:43:43 UTC; г) сводная картина по трем РЛИ: синий контур – 8 июня 2017 г., 03:57:38 UTC; красный – 8 июня 2017 г., 15:51:21; желтый – 9 июня 2017 г. 15:43:43 UTC

Комплексный спутниковый мониторинг района нефтяной платформы Приразломная, проведенный в 2018 г. показал, что ледовое покрытие этой акватории сохранялось до середины июля, а образование молодого льда началось в только в середине ноября. Никаких антропогенных загрязнений вокруг платформы не выявлено.

4.5 Совершенствование и апробация методов количественной оценки параметров гидродинамических процессов в верхнем слое океана и в приводном слое атмосферы на основе многолетних данных дистанционного зондирования из космоса. (пункт 4.4.5 плана работ на 2018 г.)

С использованием созданного в ИКИ РАН геопортала «See the Sea» продолжены работы, направленные на развитие и дальнейшее совершенствование методов количественной оценки параметров гидродинамических процессов в верхнем слое океана и в приводном слое атмосферы на основе многолетних данных дистанционного зондирования из космоса. Проведено исследование, направленное на выявление особенностей проявления в спутниковых радиолокационных данных мелкомасштабных фронтов во внутренних морях и в приводном слое атмосферы над ними.

Фронты и фронтальные разделы представляют собой один из важнейших элементов динамики вод, являясь, с одной стороны, границами между водами с различными физическими характеристиками, а с другой - областями наиболее интенсивного перемешивания Важнейшими отличительными свойствами фронтальных зон вне зависимости от масштабов являются их сложная структура, высокая динамичность и пространственно-временная изменчивость. Многочисленность, разнообразие и всемасштабность фронтов в океане делают их чрезвычайно трудным объектом для описания и изучения. Несмотря на усиленное

внимание к исследованию динамики вод и процессов водообмена, наиболее изученными экспериментально и описанными теоретически до настоящего времени остаются крупномасштабные океанические фронты в климатических фронтальных зонах. К сожалению, многие необходимые наблюдения за фронтами до сих пор не реализованы, и фронты малых масштабов (сотни метров - единицы км в поперечнике) к настоящему моменту изучены недостаточно. Мелкомасштабные фронты достаточно сложны для исследования традиционными океанологическими методами в силу ряда причин, к которым следует отнести их нестационарность, спонтанность их появления и относительно непродолжительное время существования. Дистанционные наблюдение фронтов с помощью сенсоров оптического диапазона обладают существенными ограничениями, связанными с освещенностью и наличием облачности. Влияние огромного числа факторов и разнообразие реальных условий определяют неизбежную фрагментарность сведений о процессах формирования, структуре и динамике мелкомасштабных фронтов во внутренних морях.

Методы восстановления пространственно-временных характеристик океанических фронтов по их проявлениям на радиолокационных изображениях морской поверхности существенно расширяют возможности получения информации с высоким пространственным разрешением о пространственно-временной изменчивости, особенностях зарождения, эволюции и распространения фронтов меньших масштабов, а также о волновых процессах и вихревых возмущениях, ими порождаемых, что определяет актуальность и новизну проведенного нами исследования.

Экспериментальную основу исследования составили накопленные в архивах ИКИ РАН радиолокационные изображения (РЛИ) морской поверхности, полученные при помощи радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА), установленных на ИСЗ Envisat (с 2009 по 2012 г.), РСА ИСЗ Sentinel-1A;1-B 9 (начиная с октября 2014 и сентября 2016 соответственно – по настоящее время), а также TerraSAR-X (за 2016 г.) и RADARSAR-2 (за 2016 г). Кроме того, для уточнения интерпретации РЛИ и верификации результатов привлекались данные многоспектральных сенсоров оптического диапазона MSI ИСЗ Sentinel-2A, сканирующих радиометров ETM+ Landsat-7 и OLI/TIRS Landsat-8; спектрорадиометров MODIS ИСЗ Terra/Aqua видимого и инфракрасного (ИК) диапазонов, несущие информацию о полях температуры поверхности моря (ТПМ) и мезомасштабной динамике вод.

Продемонстрирована возможность использования спутниковых РСА изображений морской поверхности для изучения фронтов во внутренних морях и в приводном слое атмосферы над этими морями.

Особое внимание уделено усовершенствованию алгоритмов разделения радиолокационных сигнатур фронтальных разделов, наблюдающихся в морях и в приводном слое атмосферы. Для достижения этой цели и верификации результатов использовались вспомогательные данные (метеорологические карты, карты ветра на поверхности моря, карты ТПМ и содержания взвеси, восстановленные на основе спутниковых данных, полученных в видимом и ИК диапазонах электромагнитного спектра).

Выделены характерные признаки, позволяющие определить тип фронтов, перемещающихся в приводном слое атмосферы (холодный фронт, теплый фронт, фронт окклюзии) по виду их проявления в на РЛИ морской поверхности.

Подтверждено, что на основе данных спутниковой радиолокации можно получить информацию о частоте возникновения и пространственном распределении субмезомасштабных фронтов в тестовых зонах, выявить возможные механизмы их генерации и факторы, которые определяют их эволюцию и распад, выявили типичные скорости движения, сезонная и межгодовая изменчивость.

Проведена апробация развитых методов для тестового района юго-восточной части акватории Балтийского моря.

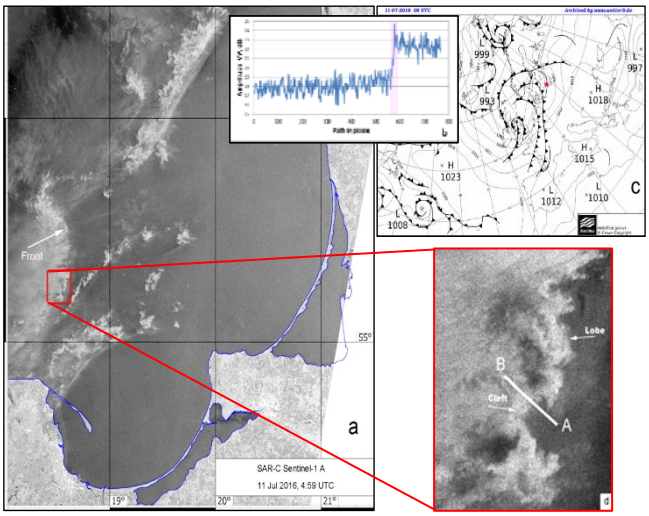


Рис. 4.5.1 - Радиолокационые сигнатуры холодного атмосферного фронта, перемещающегося над юго восточной Балтикой: а) Фрагмент Sentinel-1A РСА изображения участка поверхности юго-восточной части,11 июля 2016, 04:59 UTC. Фронт ориентирован вдоль направления север-юг и движется в северо-восточном направлении; б) вариации сечения обратного рассеяния поперек линии фронта АВ; в) метеорологическая карта на 06:00 UTC 11 июля 2016. Красная звезда соответствует положению центра РЛИ г) увеличенный фрагмент РСА изображения, выявляющий структуру ведущей линии фронта

Ведущая граница холодного фронта на РСА-изображении проявляется резким усилением (5 дБ) амплитуды обратного рассеянного сигнала (рис. 4.5.2)). Область повышенного рассеяния соответствует тыльной части фронта. Передняя кромка холодного фронта на РСА-изображении SAR морской поверхности выглядит “рваной ” и состоит из выпуклостей и впадин, непрерывно меняющих форму, что является характерной особенностью холодного атмосферного фронта над морем. Яркие полосы повышенного рассеяния перед фронтом, являются радиолокационными сигнатурами линии шквалов, также характерных для прохождения холодного фронта. Перед движущимся фронтом на этом изображении видны радиолокационные сигнатуры зоны интенсивных грозовых осадков. Грозы и сильные дожди происходят непосредственно перед холодным фронтом из-за образования кучево-дождевых облаков в результате быстрой воздушной конвекции, которая часто предшествует холодному фронту летом.

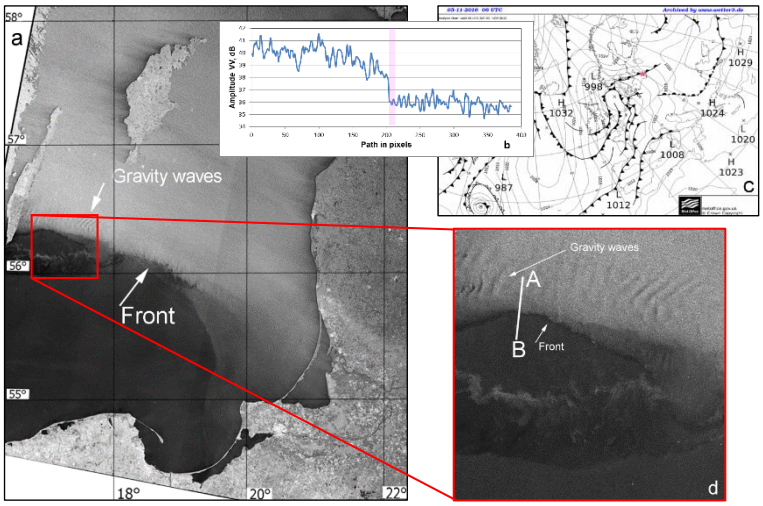


Рис. 4.5.2 - Радиолокационые сигнатуры теплого атмосферного фронта, перемещающегося над юго восточной Балтикой: а) Фрагмент RADARSAT-2 РСА изображения участка поверхности

юго-восточной части. 5 ноября 2016, 04:56 UTC. Фронт ориентирован вдоль направления запад-восток и движется в северном направлении; б) вариации сечения обратного рассеяния поперек линии фронта AB; в) метеорологическая карта на 06:00 UTC 5 ноября 2016. Красная звезда соответствует положению центра РЛИ г) увеличенный фрагмент РСА изображения, выявляющий структуру ведущей линии фронта

Ведущая граница теплого фронта на РСА-изображении проявляется резким ослаблением (3дБ) амплитуды обратного рассеянного сигнала (рис. 4.5.2). Тыльной части фронта соответствует область пониженного рассеяния. Передняя кромка теплого фронта на РСА-изображении SAR морской поверхности выглядит существенно более гладкой, на ней наблюдаются меандры возникающие вследствие сдвиговой неустойчивости. Еще одной характерной особенностью радиолокационных сигнатур теплого атмосферного фронта, движущегося над морской поверхностью, является присутствие квази-линейных полос плавного усиления и ослабления обратно-рассеянного сигнала, расположенных почти перпендикулярно ведущей границе фронта на его холодной стороне. Это радиолокационные сигнатуры сдвиговых атмосферных гравитационных волн.

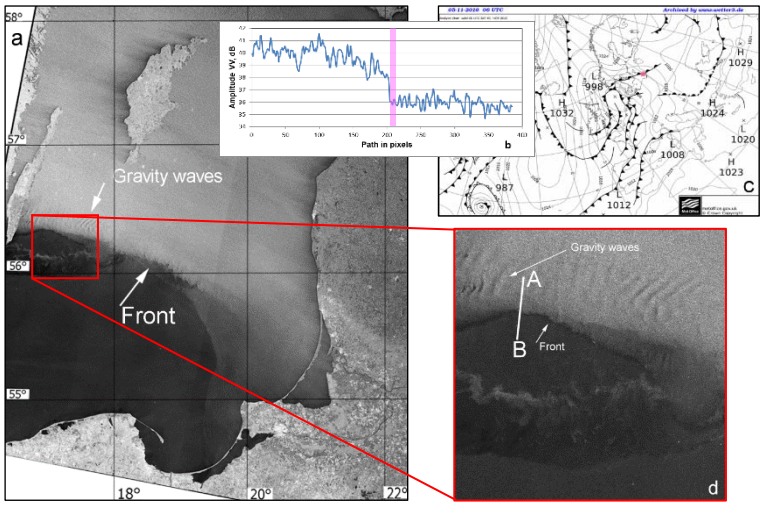


Рис. 4.5.3 - Радиолокационые сигнатуры фронта, перемещающегося над юго восточной Балтикой: а) Фрагмент TerraSAR-X РСА изображения участка поверхности юго-восточной части. 11 декабря 2016, 04:50 UTC. Фронт ориентирован вдоль направления северо-запад—юго-восток и движется в северо-восточном направлении; б) вариации сечения обратного рассеяния поперек линии фронта AB; в) метеорологическая карта на 06:00 UTC 11 декабря 2016. Красная звезда соответствует положению центра РЛИ г) увеличенный фрагмент РСА изображения, выявляющий структуру ведущей линии фронта

Ведущая граница фронта окклюзии на РСА-изображении проявляется как тонкая линия пониженного рассеяния (рис.4.5.3). Средние амплитуды обратно-рассеянного сигнала перед фронтом и за ним сравнимы по величине. Радиолокационные сигнатуры атмосферных гравитационных волн также присутствуют, но расположены они под острыми углами к границе фронта.

4.6 Создание радиолокационного комплекса для мониторинга волновых полей, течений и батиметрии в прибрежной зоне. (пункт 4.4.6 плана работ на 2018 г.)

С целью создания двухполяризационного, 3-х сантиметрового радиолокационного комплекса высокого разрешения, предназначенного для исследований параметров волновых полей, поверхностных течений и батиметрии. в 2018 году были выполнены расчёты технических

характеристик требуемые для решения задач мониторинга волновых полей в прибрежной зоне. Было проведено цифровое моделирование и лабораторные эксперименты, которые позволили определить оптимальную структуру, требования к техническим характеристикам приёмопередающего тракта и алгоритмов обработки информации как для открытых акваторий, так и в прибрежной зоне.

4.7 Создание комплекса океанологических приборов для проведения подспутниковых экспериментов. (пункт 4.4.7 плана работ на 2018 г.)

Проведение натурных экспериментов синхронно со спутниковой съемкой очень важный этап спутникового мониторинга морской поверхности. Для решения задачи восстановления количественных характеристик гидрофизических процессов по данным дистанционного зондирования из космоса необходима регулярная верификация результатов спутниковых наблюдений измерениями in-situ. В 2018 году в лаборатории 554 были спроектированы, изготовлены и опробованы в действии лагранжевые мини-дрифтеры для изучения особенностей динамики водных масс в прибрежной зоне морей. В качестве приемо-передающей части разработанного дрифтера использовался автомобильный трекер, передающий координаты своего текущего положения с помощью мобильной связи (GSM) по заданной исследователями программе. Для минимизирования вклада ветра в движение дрифтера был установлен подводный парус. Он может располагаться на той глубине, для которой необходимо измерять параметры течения. Конструкция дрифтера схематично представлена на рис. 4.7.1

Несмотря на то, что мини-дрифтеры просты в изготовлении и использовании, они позволяют получать информацию, которая не может быть получена с помощью других океанологических приборов или с помощью результатов численного моделирования. В 2018 г. были проведены многочисленные эксперименты с использованием разработанных мини-дрифтеров в прибрежной зоне Балтийского и Азовского морей. В общей сложности было изготовлено и запущено 13 дрифтеров. Помимо получения параметров течений было проведен сравнительный анализ данных, полученных как с помощью мини-дрифтеров, так и акустическим допплеровским профилографом течений (ADCP). Выявлено, что при определенных условиях мини-дрифтеры имеют свои преимущества: они могут применяться для определения течений на малых (менее 2 м) глубинах, недоступных для измерений с помощью ADCP. Дрифтеры могут быть использованы при сколь угодно малых скоростях течений, в то время как порог чувствительности ADCP составляет 5 см/с. И, что особенно важно, лагранжевые мини-дрифтеры позволяют обнаружить сложные суб-мезомасштабные вихревые процессы и инерционные колебания, тогда как на спутниковых изображениях инерционные колебания не проявляются, а в численных моделях практически не воспроизводятся ни суб-мезомасштабные вихревые процессы, ни инерционные колебания. На рис. 4.7.2 показан пример траектории дрифтера, соответствующей инерционным колебаниям.

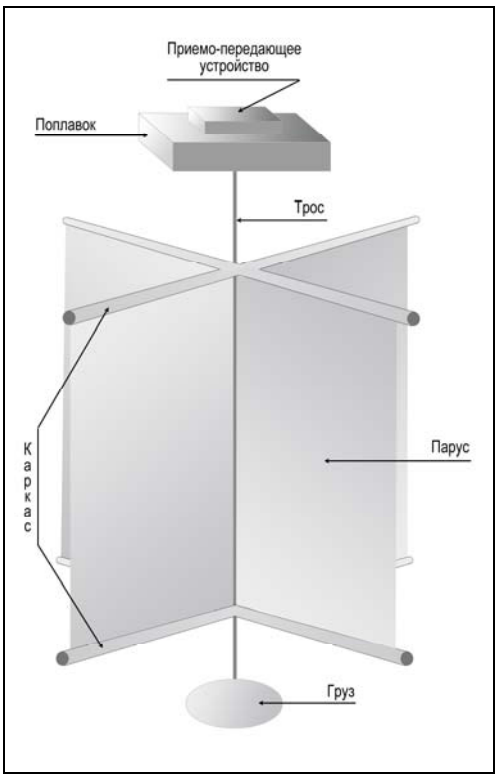


Рисунок 4.7.1 Схема конструкции лагранжевого мини-дрифтера
Рисунок 4.7.2 Траектория дрейфа мини-дрифтера за 1 – 3 августа 2018 г., соответствующая инерционным колебаниям, во время подспутникового эксперимента на Балтийском море

Заключение

Результаты, представленные в настоящем разделе, показывают, что работы по соответствующим пунктам плана работ ИКИ РАН на 2018 г. выполнены.

РАЗДЕЛ 5 МОНИТОРИНГ-АТМОСФЕРА

Введение

Направления работ по разделу Мониторинг-Атмосфера в 2018 г. содержат следующие подразделы :

- Разработка научных основ и автоматизированных методов и технологий обработки временных серий спутниковых наблюдений различного пространственного разрешения для решения комплекса задач исследований и мониторинга атмосферы.
- Развитие 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 конвективно неустойчивой атмосфере Земли с учетом зональных ветров, фазовых переходов влаги.
- Развитие методик анализа характеристик электрической турбулентности в грозовой облачности для выявления ее роли в динамике долгоживущих спиральных вихрей.
- Разработка новых методов и алгоритмов обработки данных дистанционных наблюдений в ИК и видимом диапазоне для определения характеристик облачности.
- Развитие методов лидарных наблюдений (в том числе: разработка оптических методов измерения ненормализованных моментов высших порядков для поперечных сечений частиц; разработка методов калибровки лидаров с использованием перфорированных экранов; разработка многоканальных систем, использующих режим генерации с вырожденной аппаратной функцией).
- Исследование вариаций рентгеновского атмосферной эмиссии по данным спутниковых экспериментов.
- Разработка методик решения обратных задач восстановления профилей влажности и температуры тропосферы по микроволновым радиометрическим измерениям из космоса с использованием нейронных сетей.

Основные результаты проведенных по темам в 2018 году работ кратко представлены в настоящей главе отчета.

Полученные в 2018 г. результаты подробно изложены в списках публикаций в иностранных и российских журналах, а также в материалах различных конференций, проходивших в 2018 году, приведенных в конце отчета [17, 20-30, 32, 37, 79, 80, 94-101, 216, 219-229, 233].

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 2018 г.)

5.1.1 Исследование режимов распада метеорных следов в верхней атмосфере по данным метеорной оптической камеры и ионозонда

Согласно классическому определению, ионосфера представляет собой слабоионизованную солнечным излучением часть верхней атмосферы – плазменную земную оболочку, находящуюся под непосредственным влиянием магнитного и гравитационного полей Земли и состоящую из смеси свободных электронов, ионов и нейтральных частиц. В мезосфере и нижней термосфере (в физике ионосферы этим областям соответствует ионосферная область D), к названным компонентам ионосферной плазмы необходимо добавить заряженные частицы пыли или аэрозоля. Последние попадают в верхнюю атмосферу, благодаря абляции метеороидов. При этом свойства плазмы мезосферы меняются настолько, что, например, будучи стабильной без заряженной пыли, запылённая плазма может оказаться неустойчивой по отношению к генерации мелкомасштабных (в диапазоне сантиметров-метров) неоднородностей. Поэтому необходим мониторинг состояния верхней атмосферы, позволяющий отслеживать процессы распада вторгающихся метеороидов и изучать их влияние на изменение состояния плазмы мезосферы. Инструментами, способными осуществлять подобный мониторинг, являются, например, метеорные радары и ионозонды, работающие в учащенном режиме.

Используя данные, полученные в высокоширотной обс. Соданкюла (67°22'N, 26°38'E, Финляндия) метеорной оптической камерой за 2015 г., идентифицировано и исследовано 28 событий, сопровождающихся ионизированными следами, которые однозначно зарегистрированы ионозондом той же обсерватории. Ионозонд работал в режиме одно измерение в минуту в диапазоне 0.5-16 МГц. Радиоотражения от следов получены с высот около 90 км. Определяемая линейная плотность электронов в следах изменялась в диапазоне 10^{14} - 10^{16} $м^{-1}$, что характеризует их по плотности как переходные и насыщенные. Радиоотражения наблюдались в течение нескольких минут с уменьшением отраженной частоты сигнала. В первые 250 сдля следов с линейной плотностью (2-3) · 10^{15} $м^{-1}$ отраженная частота сигнала уменьшалась со временем по закону диффузионного расплывания цилиндрического следа, т.е.

$f \propto t^{\gamma}$, где $\gamma = -0.5$; в то же время менее плотные следы распадались медленнее ($\gamma \approx -0.2$), а более

плотные - быстрее ($\gamma \approx -1$). Режим медленного распада метеорного следа обнаружен впервые. Дана интерпретация обнаруженных режимов распада метеорных следов.

5.2 Развитие 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 конвективно неустойчивой атмосфере Земли с учетом зональных ветров, фазовых переходов влаги. (пункт 4.5.2 плана работ на 2018 г.)

5.2.1 Развитие моделей, анализ физических механизмов генерации турбулентных пульсаций давления для обработки натурных данных в целях мониторинга и прогноза состояний атмосферы при движении обтекаемых тел в стационарном турбулентном потоке и выявления закономерностей формирования и динамики вихревых структур, генерации шума в атмосфере Земли с учетом ветров.

Изучение турбулентных пульсаций давления является одним из аспектов физики акустико-гидродинамических явлений и занимает важное место в акустике и аэро-гидродинамике . Турбулентные пульсации давления обусловлены турбулентностью потока, неизбежно возникающей при возрастании значений числа Рейнольдса. Пульсационное взаимодействие турбулентного потока и обтекаемого тела определяет вибрационные и шумовые поля, имеющие важное прикладное значение в широком поле инженерных приложений, в частности, в физике атмосферы. Особое место при рассмотрении эффектов турбулентности в

фундаментальных и прикладных исследованиях турбулентных течений занимает турбулентный пограничный слой как переходная область между турбулентным течением свободного потока и ограничивающей поверхностью. Пространственная структура пульсаций давления являются определяющим фактором вибрационного нагружения обтекаемых тел в стационарном турбулентном потоке. Волновое взаимодействие потока и ограничивающих его элементов конструкций порождает акустическое излучение в область течения, а вызванные турбулентностью вибрации служат дополнительным механизмом излучения и переизлучения шума, порождаемого пристеночными пульсациями давления. Важная роль при моделировании динамического взаимодействия турбулентного потока и обтекаемых тел принадлежит частотно-волновым спектрам турбулентных пульсаций давления. Модели частотно-волновых спектров являются базовыми при расчетах шумов аэродинамического проис-хождения и находят широкое применение в задачах аэродинамики и авиационной акустики. Физические свойства полей турбулентных пульсаций давления остаются предметом исследований в последние десятилетия. Информация о пространственно-временной структуре полей турбулентных пульсаций давления на обтекаемой поверх-ности обеспечивает возможность изучения физических механизмов взаимодействия турбулентного потока с обтекаемыми структурами в пристеночной зоне у поверхности современных высокоскоростных подводных объектов, воздушных судов, технических устройств. Исчерпывающей характеристикой случайного по пространству и времени поля является совокупность совместных распределений вероятностей в бесконечном множест-ве точек пространства – времени или полная система моментов случайного поля. Наибольший практический интерес представляют моменты первого и второго порядка, с которыми оперирует корреляционная теория случайных полей. В наших исследованиях пространственной структуры поля турбулентных пульсаций давления разработан новый метод функционального моделирования, основанный на прямом экспериментальном исследовании характеристического функционала турбулентных пульсаций давления. На основе обобщения экспериментальных данных, измеренных в малошумной турбулентной трубе и в глубокое море, начато исследование физико-математических моделей турбу-лентных спектров. Выполнены экспериментальные исследования пространственно-временной структуры и статистических характеристик турбулентных пульсаций давления в пограничном слое. Обнаружено влияние температурных флуктуаций среды на погрешность регистрации турбулентных спектров. На основе методов пространственной обработки турбулентных пульсаций планируется исследовать возможность защиты датчиков от акустических шумов и вибраций, построить корректные математические модели, аналитически описывающие экспериментально определенные функциональные зависимости статистических характеристик турбулентных пульсаций давления. Планируемые исследования обеспечат существенный прогресс в решении проблемы моделирования турбулентных полей давления, в развитии методов обработки экспериментальных данных по пульсациям давления.

5.2.2 Развитие моделей, анализ физических механизмов, разработка и применение алгоритмов обработки натурных данных для мониторинга и прогноза закономерностей формирования и последующей динамики мощных вихревых структур в атмосфере с учетом влияния аэрозолей и электромагнитных полей и струйных течений.

В целях выявления закономерностей формирования и последующей динамики мощных вихревых структур в атмосфере исследовалось влияние на эти процессы аэрозолей и электромагнитных полей. На атмосферу Земли оказывают постоянное влияние различные тепловые и ионизующие источники. Максимум ионизации атмосферных частиц космическими лучами соответствует высотам образования тропосферной облачности. Поскольку процесс образования ионизующих частиц – каскадный, то влияние космического излучения на вихревые атмосферные процессы оказывается существенно нелинейным. Немонотонное

расслоение неустойчивых плазменных неоднородностей в атмосфере способствует образованию ячеистых структур. В ячеистых пространственных распределениях ионизованных аэрозолей возбуждаются плазменные вихри. Влияние ионизующих солнечных и галактических космических лучей на динамику плазменных атмосферных вихрей усиливается с нарастанием загрязнений атмосферы. Важная роль аэрозольной примеси проявляется в генерации плазменных вихрей и накоплении вихрями энергии и массы в атмосфере при конденсации влаги. Генезис циклонов и антициклонов связан с нелинейными взаимодействиями гидродинамических и магнитогидродинамических структур. Было показано, что вихревая активность атмосферы, её струйные течения и турбулентность связаны с неоднородными ячеистыми распределениями атмосферных загрязнений. В полях градиентов давления мозаичной ячеистой топологии при ионизации частиц возможно проявление электрического поля плазменных вихрей. 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. Часть энергии мощных атмосферных вихревых структур, таких как торнадо, циклоны и антициклоны, генерируется аэрозольными плазменными вихрями. Они играют важную роль в атмосферных процессах. Так, взаимодействие между циклоном, надвигающимся со стороны Атлантики, и антициклоном над центром Европейской части России зависит от устойчивости антициклона. Блокировка антициклонов наблюдается в основном в летний период. Блокирующие антициклоны образуются, в том числе и над Сибирью.

На основе численных расчётов исследована динамика во времени тропических циклонов, что представляет большой интерес для современных исследований крупномасштабных вихревых процессов в атмосфере. Проведённые исследования показали, что в понимании динамики атмосферы необходимо учитывать внешние факторы, в частности, влияние солнечного излучения, роль солнечно-земных связей, а также воздействие, за счёт ионизации атмосферы, космических лучей. Численное решение гидродинамических уравнений является довольно трудоёмким процессом. Поэтому в анализе используется предложенная ранее Ярошевичем и Ингелем малопараметрическая модель (МПМ), в которой на основе системы нелинейных дифференциальных уравнений для максимальной скорости ветра и температуры поверхности океана в зоне крупного атмосферного вихря описывается возникновение крупномасштабного вихря из слабой тропической депрессии (ТД), его последующая интенсификация до уровня тайфуна. Используемая обобщённая нелинейная модель содержит свободные параметры, которые могут зависеть от времени, и их выбором можно управлять временной динамикой регионального циклогенеза, например, менять количество образующихся тайфунов в период активного сезона в заданном регионе, изменения их характеристик с учётом вариаций фоновой обстановки. Для среднепериодных вариаций фоновой обстановки в зоне крупномасштабного циклогенеза была рассмотрена генерация 3 тайфунов с различными временами жизни. Проведённый анализ показал, что для среднепериодных вариаций фоновой обстановки формирующиеся ТЦ более чувствительны к изменениям фоновой обстановки по сравнению с воздействием короткопериодных вариаций фоновой остановки. Полученные результаты показали, что путём подбора исходных параметров данной задачи, а также временного хода характеристик среднепериодных вариаций фоновой обстановки можно получить для данных наблюдений крупномасштабных ТЦ соответствие между динамикой развития циклогенеза во времени и измеренными характеристиками ТЦ в каждом конкретном регионе, что существенно дополняет результаты ранее выполненных работ в этой области.

Была рассмотрена проблема инициации и развития молниевого разряда. На основе анализа совокупности экспериментальных данных о грозовой активности высказан ряд гипотез, касающихся физики молниевых разрядов. Предложен возможный механизм, позволяющий зарядам с обширных заряженных облачных подсистем концентрироваться в канале молнии при осуществлении молниевой вспышки. Механизм возникновения проводимости включает

резонансное прохождение электронов вдоль резонансно-перколяционных траекторий. Сложные аспекты молниевого разряда связаны с коллективным поведением частиц внутриоблачной среды. Предложен механизм процесса последовательного образования молниевого канала. Рассмотрение проведено на микрофизическом уровне.

5.2.3 Развитие малопараметрической модели, анализ физических механизмов, разработка и применение алгоритмов обработки натурных данных для мониторинга и прогноза состояний атмосферы, включая выявление закономерностей формирования и последующей динамики мощных вихревых структур в конвективно неустойчивой атмосфере Земли с учетом зональных ветров и фазовых переходов влаги.

Работы посвящены изучению новой мало-параметрической модели стационарных вихрей наиболее пригодной для описания концентрированных вихрей в земной атмосфере. В рамках идеальной гидродинамики построена новая модель тонких вихревых нитей на высотах малых по сравнению с вертикальным масштабом атмосферы Земли. В отличие от вихрей Рэнкина и Бюргерса она позволяет описывать структуры ограниченные в радиальном направлении. Квазистационарные вихри в такой модели возникают в результате баланса двух эффектов: концентрации вертикальной завихренности к центру и адвекции вихревого движения в вертикальном направлении. На Рис.5.2.3.1 представлены трехмерные траектории частиц, находившихся в начальный момент на расстоянии $0.5\,r_0$ и $2\,r_0$, где r_0 - характерный радиус вихря.

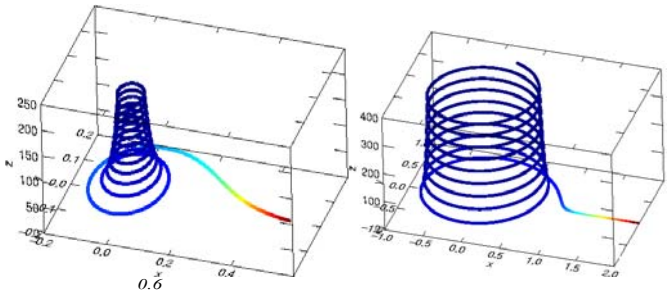


Рис. 5.2.3.1

Целью работ 2 и 4 является обобщение результатов исследованияпыльных дьяволов, уделив особое внимание механизму их генерации. Из наблюдений замечено, что одним из основных условий возникновения пыльных дьяволов является конвективная неустойчивость атмосферы, связанная с супер-адиабатическим градиентом температуры в приповерхностном слое атмосферы. Этой неустойчивости уделено особое внимание. Показано, что она возникает в результате аномально сильного нагрева участков поверхности планеты солнечным излучением. При этом, в пограничном слое с затравочной крупномасштабной завихренностью возникает спиралевидное движение к центральной области с пониженным давлением. Это служит причиной концентрации вихревого движения в мелкомасштабных структурах. Для иллюстрации полученных результатов при интерпретации пыльных вихрей в земной атмосфере примем в качестве характерной величины температурный градиент в приповерхностном слое [Okeetal., 2007]равен $2\,$С/м , обычно наблюдаемый в приповерхностном слое во время генерации вихрей. Такой градиент соответствует инкременту конвективной неустойчивости $\gamma = 0{,}25\,сек^{-1}$.

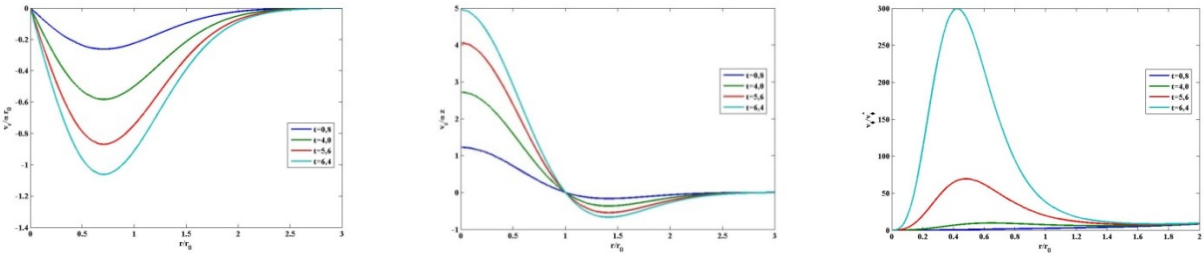


Рис. 5.2.3.2 - Нормированные компоненты скорости как функции радиуса и времени слева направо — радиальная, вертикальная и тороидальная компоненты скорости

На рис. 5.2.3.2для иллюстрации показана зависимость трех компонент скорости в вихре в интервале $t \le 6{,}4$ сек в предположении, что $\gamma = 0{,}25\,сек^{-1}$. При вычислении тороидальной скорости по формуле (27) было принято значение $\alpha = 2\gamma$. Проиллюстрированные зависимости скоростей ограниченны использованным приближением и справедливы в ограниченных областях, при $r < r_1$ или $r > r_2$ где выполняется условие (17). С ростом времени от $t = 0{,}8$ сек до $t = 6{,}4$ сек величина r_1 уменьшается от $r_1 \approx 0{,}5\,r_0$ до $r_1 \approx 0{,}3\,r_0$ в то время как r_2 увеличивается от $r_2 \approx 1{,}6\,r_0$ до $r_2 \approx 2{,}1\,r_0$. Поведение компонент скорости в вихре в области $r_1 < r < r_2$ изображенных на рис.5.2.3.3 можно рассматривать как некоторую интерполяцию полученных решений.

Проведен анализ влияния пылевых дьяволов на климат. Развита новая модель аксиально симметричного магнитного вихря с 3-х мерным спиральным движением плазмы и спиральными силовыми линиями магнитного поля. В рамках идеальной магнитной гидродинамики изучается структура вихрей. В таких квазистационарных вихрях концентрация завихренности в узкой внутренней области вихря уравновешивается эффектом адвекции завихренности вдоль оси симметрии вихря. Структура содержит три компоненты скорости движения и три компонеты силовых линий магнитного поля (см. Рис. 5.2.3.3). Новая аналитическая модель может быть использована для интерпретации наблюдаемых солнечных торнадо.

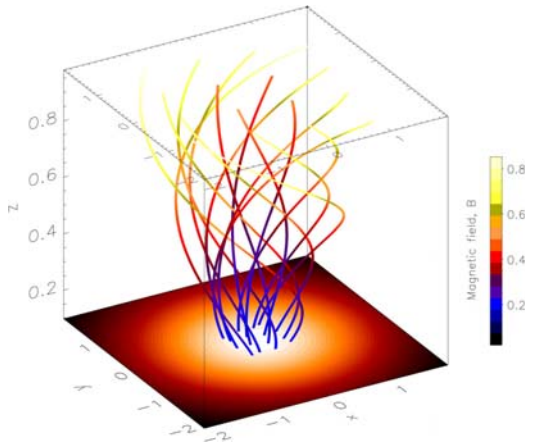


Рис. 5.2.3.3 - Трехмерная структура силовых линий магнитного поля в безразмерных величинах, где магнитное поле обезразмерено на начальное, невозмущенное поле B/B_0, пространственные координаты x и y обезразмерены на характерный радиус вихря, $X, Y = (x, y)/r_0$, а вертикальная координата z обезразмерена на характерный вертикальный масштаб вихря L, $Z = 10z/L$.

5.2.4 Адаптация ранее развитого подхода для изучения вращающейся облачной конвекции в тропиках, в целях анализа аномально-интенсивных атмосферных конвективных явлений на территории России, наблюдающихся в последние годы.

1. Обоснована применимость теории турбулентного вихревого динамо, впервые предложенной учеными ИКИ РАН в 1983 г. и получившей дальнейшее развитие в работах ИКИ 1980-90-х гг., к изучению тропических циклонов. Это стало возможным после открытия в 2004-2005 гг. американскими учеными вихревой облачной конвекции в тропиках и всестороннего изучения ее роли в зарождении и усилении тропических циклонов, выполненного в последующие годы с помощью натурных наблюдений и измерений и современного численного моделирования, обеспечивающего прямое разрешение масштабов конвективной облачности.

Также с помощью математической модели вихревого динамо и новых атмосферных данных показана важная роль вращающихся кучево-дождевых облаков, известных как вихревые горячие башни (Vortical Hot Towers - VHTs), в качестве необходимого элемента для обеспечения эффекта динамо в условиях тропического циклогенеза. Проведена аналогия между ролью взаимодействия «влажная конвекция - вертикальный сдвиг ветра» при создании вихревого динамо в атмосфере и ролью средней электродвижущей силы, обеспечивающей МГД динамо в электропроводящей среде. Полученные результаты легли в основу предложений по практической реализации ранней диагностики и прогноза тропического циклогенеза с помощью самых современных средств метеорологического анализа.

2. С применением указанных выше результатов силами российских ученых и с использованием отечественных вычислительных ресурсов в Гидрометцентре РФ и ЦАО начат анализ интенсивных атмосферных конвективных явлений, наблюдавшихся на территории России. Получены первые результаты по облачно-разрешающему (с пространственным разрешением 1 км по горизонтальным направлениям) моделированию эволюции квази-тропического циклона над Черным морем в сентябре 2005 г .

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 2018 г.)

Согласно экспериментальным данным по характеристикам электрических полей в грозовой облачности в крупномасштабных атмосферных вихрях обычно присутствуют заряженные подсистемы, которые возбуждают электрические поля величиной порядка десятков киловольт на метр. В результате в атмосфере могут возникать перепады электрического потенциала величиной до сотен мегавольт. Следовательно, заряженные подсистемы атмосферы будут способствовать генерации крупномасштабных вихрей и значительно влиять на динамику атмосферных движений. Для разработки физических моделей, описывающих воздействие заряженных подсистем на формирование, а также последующую динамику спиральных ветров в атмосфере необходимо исследование характеристик сильной электрической турбулентности в атмосферной облачности. На основе публикаций по данным измерений вертикального профиля электрического поля был продолжен анализ структурных функций электрической турбулентности в атмосфере включая расчеты скейлинговых экспонент, возможности возникновения инерционных интервалов в спектре электрических полей, оценки роли перемежаемости электрической турбулентности, присутствия в ней когерентных структур. Это важно для исследования роли электрических подсистем облачности для формирования существенно неоднородных ветровых потоков в мощных крупномасштабных вихрях, а также для численного моделирования их нелинейной динамики с использованием оптимальных схем параметризации. Расчеты показывают существенную роль электрической турбулентности в циклогенезе. Это направление исследований представляет интерес для развития современных методик обработки данных дистанционного зондирования атмосферы, для выработки корректной физической интерпретации результатов обработки получаемых экспериментальных данных. Важно отметить, что данные исследования могут в дальнейшем быть полезными для анализа возможностей воздействия на динамику атмосферы.

5.4. Разработка новых методов и алгоритмов обработки данных дистанционных наблюдений в ИК и видимом диапазоне для определения характеристик облачности. (пункт 4.5.4 плана работ на 2018 г.)

При дистанционном определении яркости океана по измерениям отражённой солнечной радиации системы океан-атмосфера необходимо учитывать вклад яркости атмосферы, который на порядок может превосходить яркость океана. Для этого необходимо определять параметры атмосферы: оптическую толщину и вертикальное распределение коэффициента аэрозольного рассеяния.

Для решения этой задачи предлагается использовать так называемую «кислородную методику». Метод решения этой задачи основан на использовании измерений интенсивности отражённой солнечной радиации со спутника в нескольких отдельных участках полосы поглощения молекулярного кислорода 0,76 мкм и в окне прозрачности 0,74 мкм. Физическую основу составляет тот факт, что отражённая системой океан-атмосфера солнечная радиация генерируется различными слоями атмосферы, вклад которых в яркость измеряется со спутника функцией пропускания кислорода. Последняя функция известна с достаточной степенью точности, поскольку относительная концентрация молекулярного кислорода постоянна до очень больших высот в атмосфере и слабо варьирует по Земле, а полоса поглощения кислорода 0,76 мкм достаточно хорошо изучена. Следует также отметить, что эта полоса не перекрывается другими атмосферными газами.

С развитием соответствующего программного обеспечения были проведены оценки изменчивости оптической толщины с определением вертикального профиля коэффициентов аэрозольного рассеяния по трассе полета спутника над океаном по данным спектрофотометра МКС-М2.

5.5 Развитие методов лидарных наблюдений (в том числе: разработка оптических методов измерения ненормализованных моментов высших порядков для поперечных сечений частиц; разработка методов калибровки лидаров с использованием перфорированных экранов; разработка многоканальных систем, использующих режим генерации с вырожденной аппаратной функцией). (пункт 4.5.5 плана работ на 2018 г.)

5.5.1. Разработка методов измерения характеристик ненормализованных моментов высших порядков для поперечных сечений частиц в задаче определения микроструктуры рассеивающих частиц.

Для решения задач калибровки лидара упругого рассеяния разработан 3D-экран в виде цилиндра с отверстиями оптически изолированными друг от друга. 3D-экран создается по изображениям частиц, полученным оптическими методами. Применяемые в оптике рассеивающих сред и дистанционном зондировании методы измерения пропускания могут быть использованы для последовательности таких 3D-экранов. Последовательность таких экранов, между которыми расположены рассеивающие слои, задает определенный коэффициент пропускания и зависит от ненормализованных моментов. Пропускание пяти 3D-экранов дает коэффициент пропускания $5\ 10^{-12}$ для измерения ненормализованного момента шестого порядка. Изображения несферических частиц также могут быть использованы для создания 3-D экрана. Однако, для несферических частиц, сечения которых являются невыпуклыми фигурами, коэффициент пропускания меньше, чем для выпуклых фигур. Набор из ненормализованных моментов позволяет оценивать параметры функции распределения частиц по сечениям и эквивалентное сечение частиц, образующих рассеивающую среду. Кроме того, отношение квадрата ненормализованного момента первого порядка к ненормализованному моменту второго порядка дает информацию о

количестве изображений частиц на 3D-экране, через которые проходит зондирующий пучок. Угловой размер пучка на выходе из 3D-экрана определяется геометрическими характеристиками отверстий 3D-экрана. Это позволяет определять угловые коэффициенты рассеяния (пропускания) с заданным коническим углом для тонких прозрачных рассеивающих объектов различного вида. Предложено использовать ненормализованные моменты до четвертого порядка в качестве статистического кода для идентификации источника аэрозоля.

5.5.2. Влияние метеопараметров и условий измерений на угловую структуру излучения водной поверхности

Анализировалась изменчивость угловой структуры излучения водной поверхности, регистрируемого спутником в ИК диапазоне спектра, с учетом вариаций параметров волнения и метеопараметров состояния атмосферы. При моделировании интенсивности излучения взволнованной водной поверхности учитывается функция затенения, отраженное излучение атмосферы и ослабление излучения в слое от источника до приемника. Это ослабление и переизлучение существенно зависит от оптической толщи, стратификации приводного слоя атмосферы.и от разности температуры воды и воздуха.
Этот анализ был опробирован по результатов измерений, проведенных с береговых станций, и данных об угловой структуре излучения вблизи горизонта, полученных с борта судна. В условиях одновременного воздействия зыби и ветрового волнения наиболее информативной областью для определения дисперсии уклонов волн в открытых акваториях является диапазон углов 15-25 градусов к горизонту. Исследовано влияние высоты расположения измерительных радиометрических устройств над поверхностью.

5.5.3. 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.

Были продолжены работы по возможности создания автономной автоматической системы определения облачности (выделения безоблачных участков) на борту космического аппарата (КА) в интересах повышения эффективности использования спутниковых средств высокодетального наблюдения.
При работе высокодетальных средств дистанционного зондирования Земли оптического диапазона, возможно возникновение помехи в виде облачности в районе съёмки (если только таковая не является целью наблюдения), частично или полностью перекрывающей интересующие объекты или ухудшающей качество изображения. Традиционные пути решения этой проблемы состоят в предварительном планировании съёмки, на основе данных прогноза состояния облачности в месте пролёта, а также последующей сшивки по свободным от облачности регионам. Такие методы, хоть и традиционно применяются, имеют определённые недостатки или ограничения в виде недостаточной точности, детальности и оперативности прогноза из-за возможности относительно быстрого изменения распределения облачности, а также невозможности оперативного изменения планов съёмки в случае, если прогноз оказался неточен.
Ранее проводились работы по выбору алгоритмов обработки спутниковых измерений в задаче выявления облаков- экспериментальное сравнение эффективности различных численных характеристик изображения в качестве признаков, которые могут быть использованы в классификационных алгоритмах с целью оперативного автоматического распознавания облачности.
Сейчас предлагается система, позволяющая повысить эффективность дистанционного зондирования за счёт оперативной автоматической оценки облачности в заданном районе

съёмки. Система включает камеру предварительного обзора (КПО), установленную под углом в направлении движения КА, задачей которой является получение данных о текущей облачной обстановке, непосредственно перед началом съёмки. На основе данных КПО, средствами бортовой ЭВМ производится построение актуальной карты облачности в районе заданной съёмки и автоматический оперативный выбор из нескольких альтернативных программ съёмки с последующей автоматической переориентацией на наиболее приоритетную, из свободных от облачности, цель.

Рассматривались основные технические аспекты, демонстрирующие техническую реализуемость предлагаемой системы. Возможность углового сканирования: рассмотрены исторические примеры и существующие решения в этой области, приводится схема зондирования и оценка необходимого угла и подлётного времени, достаточного для принятия решения и ориентации. Аппаратное обеспечение: приводятся оценочные параметры камеры предварительного обзора и рассмотрены вопросы взаимодействия с системой ориентации КА. Программное обеспечение: дан обзор популярных современных алгоритмов выделения облачности и оценка их пригодности для решения задачи, а также примеры использованных в работе алгоритмов и модельные результаты их работы.

Дана оценка технической реализуемости автономной автоматической системы оценки облачности на основе предварительного обзора вперёд по направлению движения КА ДЗЗ, а также её возможный проектный облик. Получен патент на изобретение № 2670246 "Способ управления временем и областью съемки при дистанционном зондировании". Заявка № 2018101296. Приоритет изобретения 15.01.2018 г. Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 19.10.2018 г. Федеральная служба по интеллектуальной собственности.

Результаты работ могут быть использованы при создании различных систем ДЗЗ, для основных сенсоров которых, наличие облачности в кадре является помехой.

5.6 Исследование вариаций рентгеновского атмосферной эмиссии по данным спутниковых экспериментов. (пункт 4.5.6 плана работ на 2018 г.)

Тепловые нейтроны (ТН) составляют часть атмосферного приземного (< 0.5 км) естественного радиационного фона. Источниками ТН являются альбедо космических лучей от земной поверхности и ядерные реакцииα-частиц распада природного радона. Находясь в термодинамическом равновесии с атомами воздуха ТН участвуют в их коллективном движении, что существенно отличает динамику ТН от динамики более энергичных нейтронов. Прикладной аспект исследования ТН в атмосфере обусловлен их опасностью для микросхем с боросодержащими элементами. Представляют также интерес пока не объяснённые спорадические всплески концентрации ТН в биоценозах и возможная связь вариаций концентрации ТН с сейсмической активностью. Мониторинг ТН может оказаться полезным инструментом при исследовании динамики переходного слоя атмосферы.

В работе исследована связь концентрации ТН с метеорологическими параметрами и сделана попытка оценить вклад в неё различных источников. Работа основана на данных глобальной сети мониторинга атмосферных нейтронов COSMOS (Cosmic ray Soil Moisture Observing System) и результатах долговременных измерениях концентрация радона и потоков энергичных нейтронов в закрытом помещении, выполненных в Лаборатории природной радиации Института технологи и аэронавтики Бразилии.

В результате этих исследований обнаружены следующие ранее неизвестные эффекты:

1. Большой диапазон изменения величины отношения потока тепловых к потоку более быстрых нейтронов.В зависимости от географического положения характерный параметр меняется в пределах от 0.3 до 30. Наибольшие его значения отмечаются на

территории Бразилии. Столь большие величины не могут быть обусловлены широтной зависимостью родительского спектра космических лучей или разницей в химическом составе почвы, определяющей выход альбедных нейтронов из неё. Поскольку для геологии Бразилии характерны гранитные породы с высоким содержанием ^{238}U и ^{232}Th, являющихся источниками радона, то эффект вероятнее всего связан с повышенной концентрацией радона в почве.

2. Повышенная концентрация ТН сопровождается ярко выраженной (от 15 до 50%) суточной вариацией с фазой (максимум ночью и минимум днём), противоположной температурной вариации. Аналогичные вариации радона и потока энергичных нейтронов в помещении демонстрируют ещё более сильную (около 100 %) вариацию в фазе с ТН. Источником энергичных нейтронов в последнем случае являются ядерные реакции α-частиц распада радона с веществом окружающих конструкций. Такую же фазу имеют наблюдаемые на открытом воздухе вариации радона и γ-квантов, рождённых в цепи его распада. Наблюдаемый эффект связан с увеличением вертикальной атмосферной конвекции в дневное время.

3. Постоянная амплитуда максимума суточной вариации концентрации ТН**.** Эффект объясняется динамическим равновесием, устанавливающимся между выходящими из почвы тепловыми нейтронами и их потерями в реакциях радиационного захвата в отсутствие вертикальной атмосферной конвекции при пониженной ночной температуре. При этом равновесие наступает при одной и той же температуре.Очевидно, что эффект позволяет непосредственно определить мощность источника ТН.

4. В отличие от других компонент радиационного фона концентрация ТН антикоррелирует (коэффициент корреляции ≈ - 1) не с абсолютной величиной температуры, но с её отклонением относительно ночного максимума**.** Скорее всего это связано с тем что альбедные ТН выходят с меньших глубина, чем атомы радона и изменение температуры в приповерхностном слое почвы на них влияет сильнее.

5.6.2. Развитие теоретических моделей, анализ физических механизмов в целях разработки средств исследований гидросферы и атмосферы

Рассмотрена изменчивость угловой структуры излучения водной поверхности с учетом вариации параметров волнения и метеопараметров состояния атмосферы. При моделировании интенсивности излучения взволнованной водной поверхности учитывается функция затенения, отраженное излучение атмосферы и ослабление излучения в слое от источника до приемника. Это ослабление и переизлучение существенно зависит от оптической толщи, стратификации приводного слоя атмосферы.и от разности температуры воды и воздуха. Выделено различие результатов измерений, проведенных с береговых станций, и данных об угловой структуре излучения вблизи горизонта, полученных с борта судна. В условиях одновременного воздействия зыби и ветрового волнения наиболее информативной областью для определения дисперсии уклонов волн в открытых акваториях является диапазон углов 15-25 градусов к горизонту. Исследовано влияние высоты расположения измерительных радиометрических устройств над поверхностью.

5.7. Разработка методик решения обратных задач восстановления профилей влажности и температуры тропосферы по микроволновым радиометрическим измерениям из космоса с использованием нейронных сетей (пункт 4.5.7 плана работ на 2018 г.)

Основной задачей исследования являлось получение профилей влажности и температуры в нижней части тропосферы в слое до 10 км, т.е. там, где сосредоточено более

90% водяного пара. Для проверки этого было проведено решение обратной задачи нахождения профилей влажности и температуры по известным значениям яркостной температуры микроволнового радиометра из космоса.

Используемая модель радиояркостной температуры атмосферы представляет собой интегральное уравнение, которое, относится к классу нелинейных интегральных уравнений типа Урысона, так как неизвестная функция входит в ядро. Даже, если эту зависимость ядра от искомого параметра считать слабой, мы тем не менее все равно получаем уравнение Фредгольма 1-го рода. В нашем случае оно допускает множество решений и относится к классу некорректных задач. Это означает, что найти искомое решение обратной задачи традиционными методами не представляется возможным.

Существующие методы решения таких задач - это статистическая регуляризация, линейная и нелинейная регрессия и нейронные сети. Сюда можно добавить менее популярные методы, например, интерполяция полиномами или сплайнами и разложение по базису ортогональных функций (например, в ряды или интеграл Фурье).

В последние годы для решения обратных задач в широком спектре научных дисциплин стал применяться метод нейронных сетей. Нейронные сети не требуют наличия уравнения, связывающего искомые величины с известными. Это делает метод почти универсальным. В нашем случае достаточно иметь обучающие наборы яркостных температур на выбранных частотах и соответствующих им физических параметров: профилей температуры и влажности.

Была разработана следующая процедура обучения нейронной сети применительно к задаче определения профилей температуры и влажности. В качестве входных данных для моделирования были использованы данные судовых метеозондов из области Атлантического океана за 2015 – 2016 годы, которые были предоставлены ФГБУ "ВНИИГМИ-МЦД". Всего было использовано 5723 набора данных, каждый из которых включает в себя профиль температуры, влажности и давления атмосферы, интерполированные на сетке высот от 0 до 25 км с шагом по высоте 100 м. При моделировании были приняты следующие допущения: атмосфера – свободна от облачности и осадков, подстилающая поверхность – гладкая морская поверхность, с неизменной температурой воды 300 К и солёностью 35‰, диаграмма направленности антенны и ширина полосы частот приёмника– бесконечно узкие. Для определения профиля температуры использовались 6 частот вблизи линий кислорода в окрестности 55 ГГц (52,8000 53,7110 54,4000 54,9400 55,5000 57,2903 ГГц). Для определения влажности – 6 частот в близи линии водяного пара 183,31 ГГц (165.5, 183.31±7, 183.31±4.5, 183.31±3, 183.31±1.8, 183.31±1 ГГц). Однако результаты моделирования показали, что чувствительность данного набора каналов к влажности атмосферы в нижних слоях 0…3 км очень низкая. Для решения этой проблемы был предложен новый метод дифференциальных измерений в полосе поглощения водяного пара с центром 22,235 ГГц. В результате моделирования был получен набор из трёх дифференциальных каналов, которые демонстрируют как высокую чувс-твительность к влажности в нижних слоях, так и высотную избирательность в слое (0–3) км.

Было проведено сравнение результатов, полученных с помощью нейросетей с результатами аналогичных расчётов методами линейной и нелинейной (до 3-го порядка) регрессии. На Рис. 1 представлены коэффициенты корреляции между рассчитанными разными методами и истинными профилями влажности для разных высот тропосферы.

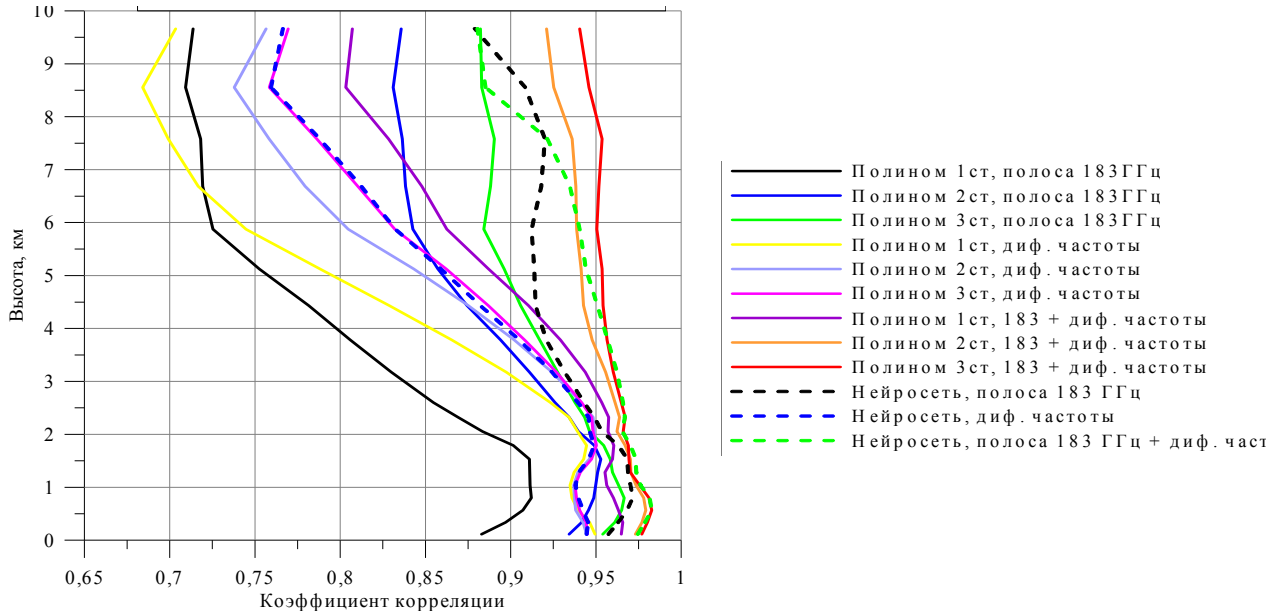


Рис. 5.7.1- Сравнение разных методов восстановления профилей влажности тропосферы по коэффициенту корреляции с профилем влажности, полученным с помощью метеозонда

На основе анализа восстановления профилей температуры и влажности была проведена оптимизация параметров нейросети. Оптимальными оказались 2-х и 3-х слойные сети с количеством нейронов в слоях от 10 до 50-ти. Было установлено, что профили температуры и влажности нужно восстанавливать отдельными сетями. Не следует вводить профили температуры и влажности в одну обучающую матрицу вместе. Это приводит к ухудшению точности восстановления профилей.

Профили влажности целесообразно восстанавливать с использованием метода дифференциальных частот. Все методы решения обратных задач показывают, что использование дифференциальных методов на частотах в диапазоне 22 ГГц в совокупности с традицонными методами в линии 183 ГГц существенно улучшают профили восстановления.

Заключение

В целом отчет по теме показывает, что работы по данному направлению выполнены.

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 2018 году в рамках настоящего раздела была запланирована работа по следующим основным направлениям:

- Разработка методов и средств спутниковых наблюдений Земли из космоса
- Разработка методов и средств повышения качества калибровки и привязки целевой информации ДЗЗ

В настоящей главе отчета представлены основные результаты выполненных в 2018 году работ. Подробно полученные результаты описаны в работах [81-93, 217, 218].

6.1. Разработка методов и средств спутниковых наблюдений Земли из космоса. (пункт 4.6.1 плана работ на 2018г.)

В том числе в 2018 году: исследовании пригодности расчетных орбит для обеспечения требований покрытия поверхности небесных тел при проведении дистанционных топографических съемок в условиях временных ограничений.

Одной из главных задач, которая должна быть решена при планировании космического эксперимента, нацеленного на дистанционную съемку поверхности небесного тела (Земли, Луны и других планет) является расчет правильной орбиты, обеспечивающей выполнение задачи в условиях баллистических, энергетических, теплотехнических и фотометрических ограничений. Для проведения исследований был проведен анализ баллистических данных для различных планируемых дат пуска КА «Луна-Ресурс-1 (ОА)» и выработаны исходные требования к построению орбиты, обеспечивающей максимальное покрытие поверхности Луны и наилучшее разрешение. Рассчитанная на основе выданных требований околокруговая полярная орбита была промоделирована с целью анализа и наглядного представления карты покрытия и ее проблемных мест. Данные по орбите предоставлены в формате SPICE и содержат информацию о движении КА (координаты и скорость в инерционной системе координата IAU_MOON) и об ориентации съемочной камеры.

В рамках исследовательской миссии орбитального космического аппарата «Луна-Ресурс-1» ОА на этапе эскизного проектирования были запланированы две рабочие окололунные орбиты – низкая круговая со средней высотой порядка 50 км и высокая эллиптическая с высотой 500 км. Время нахождения аппарата на низкой орбите и ее параметры определяются запасом рабочего тела на борту, необходимого для проведения коррекций скорости движения КА. Высокая орбита является стабильной и не требует проведения коррекций.

Для оценки возможного покрытия поверхности Луны съемкой с помощью камеры ЛСТК, необходимо, основываясь на существующих орбитальных расчетах и параметрах съемочной системы, смоделировать какие участки поверхности будут сняты, провести анализ на соответствие требованиям по перекрытию, стереозасечке и суммарному покрытию с учетом существующих ограничений по времени наблюдения и фототехнической обстановки. На основе такого анализа необходимо скорректировать параметры низкой орбиты таким образом, чтобы обеспечить с одной стороны максимальное соответствие требованиям

эксперимента, а с другой – возможность и эффективность поддержания орбиты. Задача эта нетривиальная и потребовала проведения большого количества расчетов.

Пути решения и результаты

Все рассмотренные научные интересы и технические требования необходимо учесть при решении задачи выбора наилучшей (оптимальной) орбиты. Для начала рассмотрим список возможных параметров оптимизации, от которых может зависеть решение поставленной задачи. К таким параметрам можно отнести:

1) Оптимизация параметров низкой круговой рабочей орбиты с целью минимизации межвитковых пробелов и увеличения суммарного покрытия за год. Сюда можно отнести: коррекцию орбиты за счет топлива, уточнение оптимальной высоты орбиты, наклонение орбиты и прочее.

2) Организация учета, хранения данных и рационального планирования съемок. Положительный эффект может быть достигнут за счет: своевременной верификации результатов полученной съемки (проверка на корректность данных при передаче и решении по проведении повторной съемки), предварительном планировании времени начала и окончания съемки.

3) Увеличение информационной емкости радиоканала за счет применения сжатия данных с регулируемыми параметрами. В условиях ограниченных возможностей зарядки батарей и событий возможности передачи данных на землю, необходимо грамотно планировать моменты съемки и моменты передачи данных.

4) Оценка возможностей продления работы на низкой орбите более одного года и возможностей проведения съемок при нахождении КА на второй рабочей орбите.

Рассмотрим пути оптимизации рассмотренных критериев только за счет оптимизации параметров орбиты, так как остальные параметры можно оптимизировать на Земле и даже в процессе миссии, а коррекция орбиты заложенной на Земле после старта практически невозможна.

Для проверки оценки критериев оптимальности предложены следующие методы: построение графиков высот орбиты над поверхностью Луны, исследование проекций снимков, полученных в различные сезоны, построение карты плотности покрытия с выделением непокрытых областей.

НПО им Лавочкина была проработана предварительная орбита с высотой над поверхностью 50 км и с сохранением меридиональной ориентации. Анализ данной орбиты по предложенным критериям показал, что:

1) размах высот 50 км орбиты над сферой Луны более ±20 км (см. рис. 6.1.1), что может создать опасность потери КА при условии, что точность прогноза орбиты 10 км, а высоты на Луне достигают порядка 10.8 км. В связи со столь значительным разбросом высот выдерживание перекрытий становится крайне трудной задачей даже для моделей вдоль одной орбиты, и следовательно, приводит к сокращению интервала фотографирования и далее, либо к сужению области покрытия, либо увеличению количества данных для сброса.

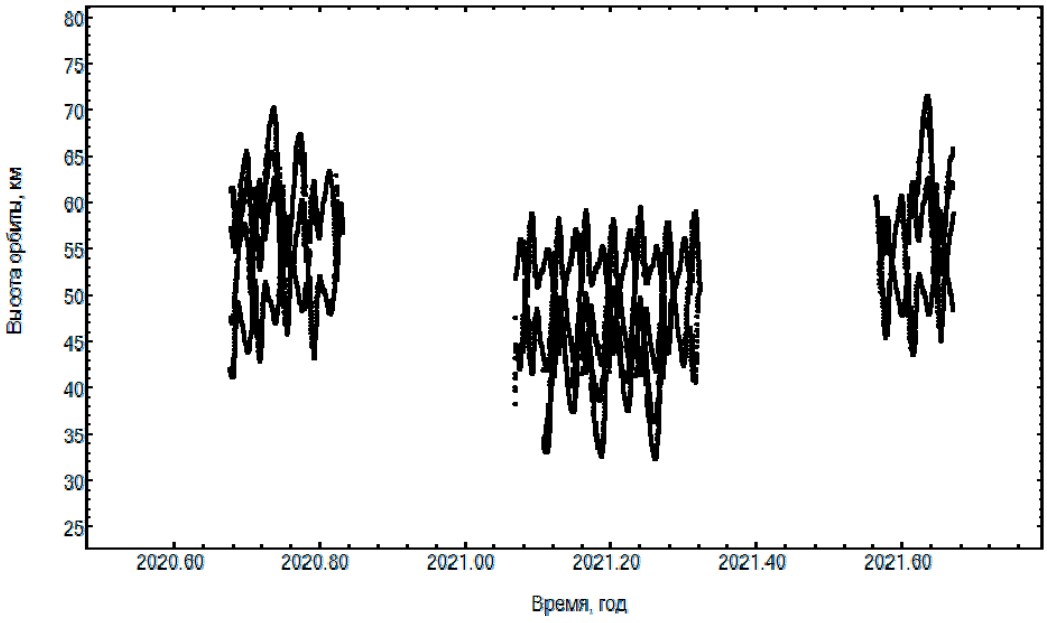


Рисунок 6.1.1 – Размах высот над сферой Луны для орбиты 50 км.

2) Было установлено, что при проектировании орбиты разработчики старались максимально обеспечить повторяемость треков от месяца к месяцу, ввиду чего, в покрытии были обнаружены значительные области с "дырами" в покрытии (см. рис. 6.1.2).

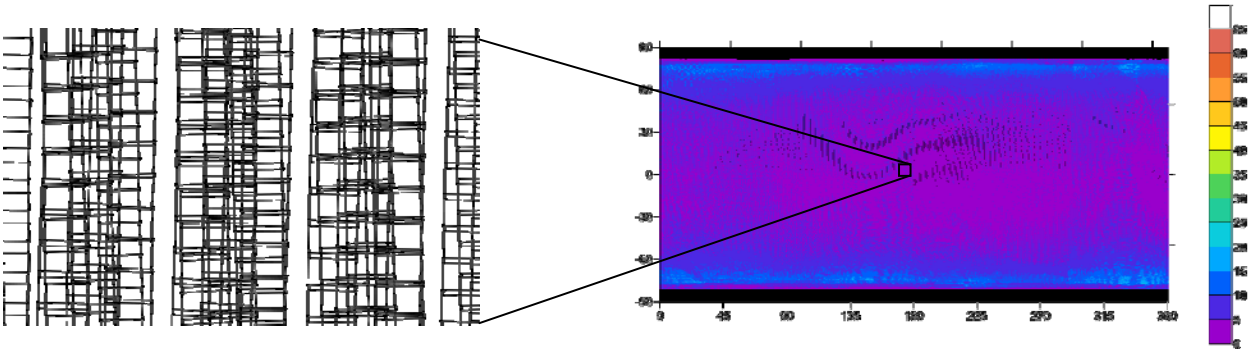


Рисунок 6.1.2 – Карта плотности покрытия Луны для орбиты 50 км.

В дальнейшем потребуется подобрать точку и время старта съемки для максимизации съемочного сезона, повысить возможность съемки в экваториальной области (±30 градусов широты) за счет подбора характерных коррекций орбиты.

На основании разработанных критериев был проведен анализ текущей орбиты 50 км и предложен более оптимальный вариант. В качестве количественных характеристик степени оптимальности были предложены следующие величины:

1) значение средней плотности покрытия.

2) процент вовсе непокрытых областей относительно всей площади поверхности Луны в области рабочего диапазона (исключая полюса выше 80 параллели).

3) размах рабочего диапазона высоты орбиты над поверхностью Луны.

Таблица 1 – Показатели степени оптимальности

Показатель	50 км*	50 км**	70 км*	70 км**
Средняя плотность покрытия, раз	5.0	5.0	9.7	9.9
Процент дыр в покрытии,%	0.4	5.7	0.0	3.7

Размах диапазона высот, м	40	40	10	10

*не учтены зоны предельной освещенности на экваторе.

** учтены зоны предельной освещенности на экваторе.

На данный момент лучшее решение найдено для орбиты 70 км с размахом высот ±10 км. Значительно повышена плотность покрытия полярных областей, однако экваториальные области все же покрыты недостаточно плотно.

Далее исследования были дополнены учетом освещенности для исключения зон со слабым контрастом (области, где угол Солнца к поверхности Луны < 30º). Как можно видеть на рисунке 6.1.3 в экваториальной области появляются пробелы (дыры) в покрытии.

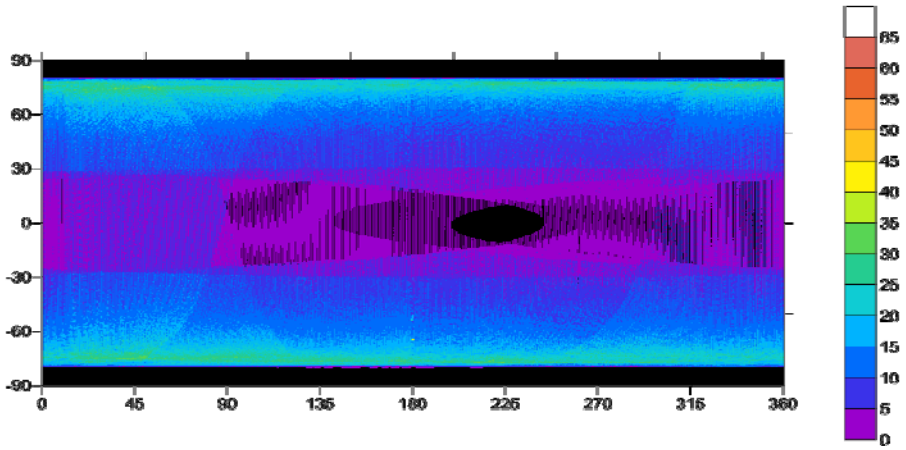


Рисунок 6.1.3 – Карта плотности покрытия Луны для орбиты 70 км после учета зон со слабым контрастом.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что в результате более тщательного подбора орбиты и учета ряда факторов, отвечающих за решение конечной задачи, т.е. получения цифровой модели поверхности Луны с приоритетом обеспечения максимального покрытия, средняя плотность покрытия увеличилась почти вдвое, а процент непокрытых областей снизился. Повышая среднюю плотность покрытия можно обеспечить в дальнейшем возможность сэкономить на радиолинии за счет перераспределения отдельных маршрутов. Так же удалось снизить в 1.5 раза пробелы покрытия, однако этот показатель можно повысить за счет оптимального подбора даты старта, что обеспечит большее число событий, когда поверхность будет освещена Солнцем. Исследования будут продолжены в области учета всех нерассмотренных факторов и подборе оптимального времени начала съемки.

6.2. Разработка методов и средств повышения качества калибровки и привязки целевой информации ДЗЗ. (пункт 4.6.2 плана работ на 2018г.)

6.2.1. Полетная радиометрическая калибровка КМСС-М на КА «Метеор-М» №2

В 2018 проведена ежегодная полетная калибровка камер МСУ-201, МСУ-202 и МСУ-250, входящих в состав Комплекса многозональной спутниковой съемки КМСС-М на КА «Метеор-М» № 2, и были проведены работы по оценке и контролю радиометрического качества данных.

По данным, полученным за период январь-февраль 2018 г., была выполнена полетная кросс-радиометрическая калибровка КМСС-М относительно спектрорадиометра MODIS КА «Terra» по однородным снежным полям Антарктиды и уточнены файлы радиометрической калибровки камер МСУ, входящих в состав комплекса КМСС-М. Необходимая коррекция чувствительности элементарных детекторов камер МСУ составила не более 5% и находится в

пределах точности калибровки, что подтверждает стабильность чувствительности камер КМСС-М.

Оценка точности радиометрической калибровки КМСС-М была выполнена путем сравнения радиометрических данных съемочных систем КМСС-М на КА «Метеор-М» №2, MODIS на КА «Terra» и OLI на КА «Landsat-8», полученных за период апрель-июнь 2018 года, путем сравнения значений коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) на верхней границе атмосферы для широкого круга природных объектов по тестовым участкам. Сравнение КСЯ природных объектов, измеренных КМСС-М КА «Метеор-М» №2 и рассчитанных в спектральных зонах КМСС-М с помощью регрессионных соотношений по данным MODIS и OLI, с учетом зенитных углов Солнца на момент проведения съемки, показало, что расхождение абсолютной радиометрической калибровки спектральных каналов камер МСУ КА «Метеор-М» № 2 и MODIS, а так же МСУ и OLI не превышает 3,7% и находится в пределах точности абсолютной калибровки как MODIS, так и OLI, которая составляет 5 %. Среднеквадратическое отклонение значений КСЯ природных объектов по данным МСУ, MODIS и OLI не превышает 0.016.

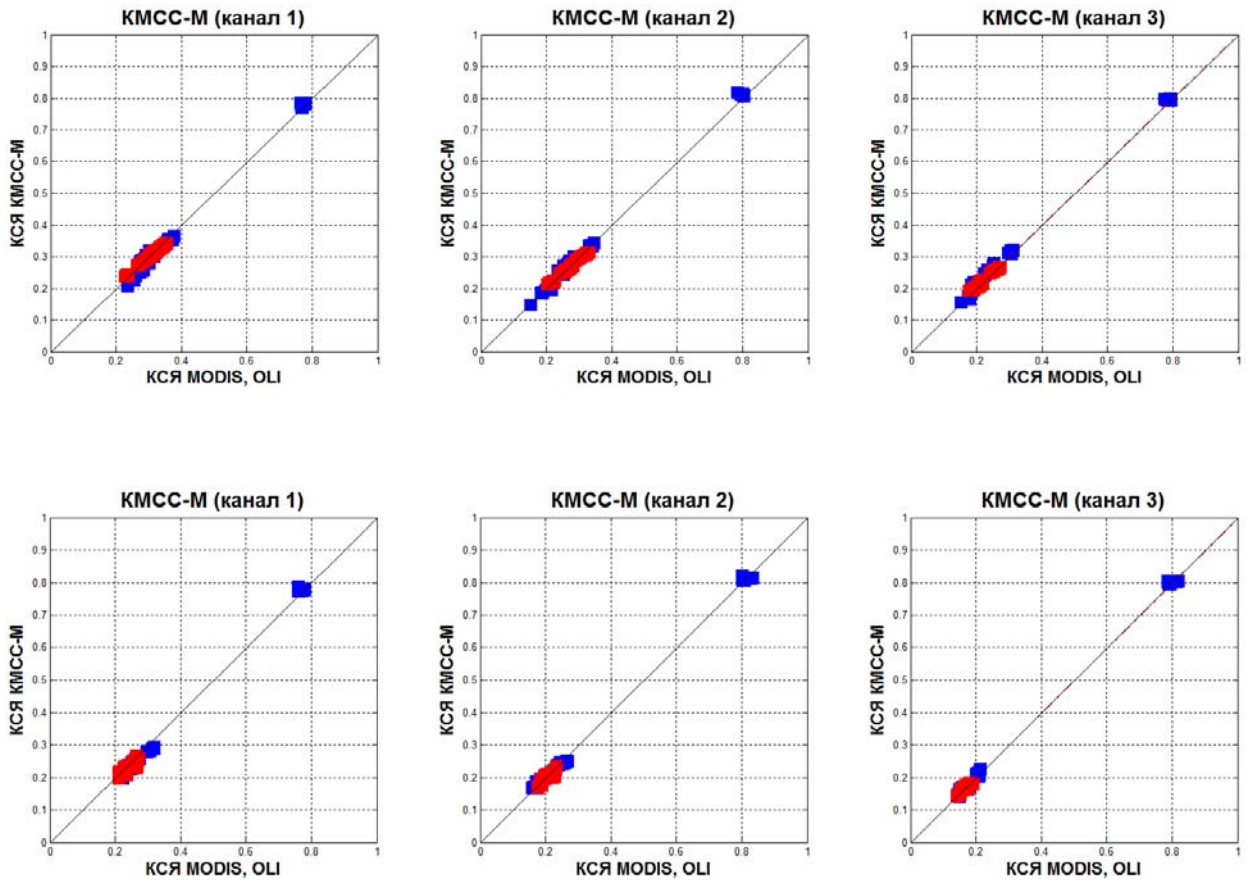


Рис.6.2.1.1. Соотношение КСЯ природных объектов в спектральных каналах МСУ-201 (вверху) и МСУ-202 (внизу) по измерениям МСУ и MODIS (показано синим цветом) и по измерения МСУ и OLI (показано красным цветом)

6.2.2. Разработка банка контрольных точек Sentinel и его использование для автоматизации полетной геометрической калибровки КМСС-М на КА «Метеор-М» №2

Для повышения точности полетной геометрической калибровки камер МСУ-201 и МСУ-202, входящих в состав съемочной системы КМСС-М на КА «Метеор-М» №2,

разрабатывается банк контрольных точек (КТ) на базе георефенцированных изображений Sentinel, полученных с разрешением 10 м в спектральных зонах, близких к зонам камер КМСС-М. В настоящее время банк КТ охватывает прибрежные районы Черного и Эгейского морей (рис.6.2.2.1). При калибровке камер КМСС-М осуществляется автоматический поиск КТ на изображениях и по ним определяются элементы внутреннего ориентирования камер: эффективное фокусное расстояние спектральных каналов, параметры дисторсии каналов и параметры ориентации внутренней системы координат каналов в приборной системе координат камер, жестко связанной с системой координат звездных датчиков. Эти параметры определяют проекционную функцию камер, связывающую номер пиксела (т.е. номер активного элементарного фотоприемника в линейном ПЗС-фотодетекторе) и соответствующий ему вектор направления наблюдения в приборной системе координат.

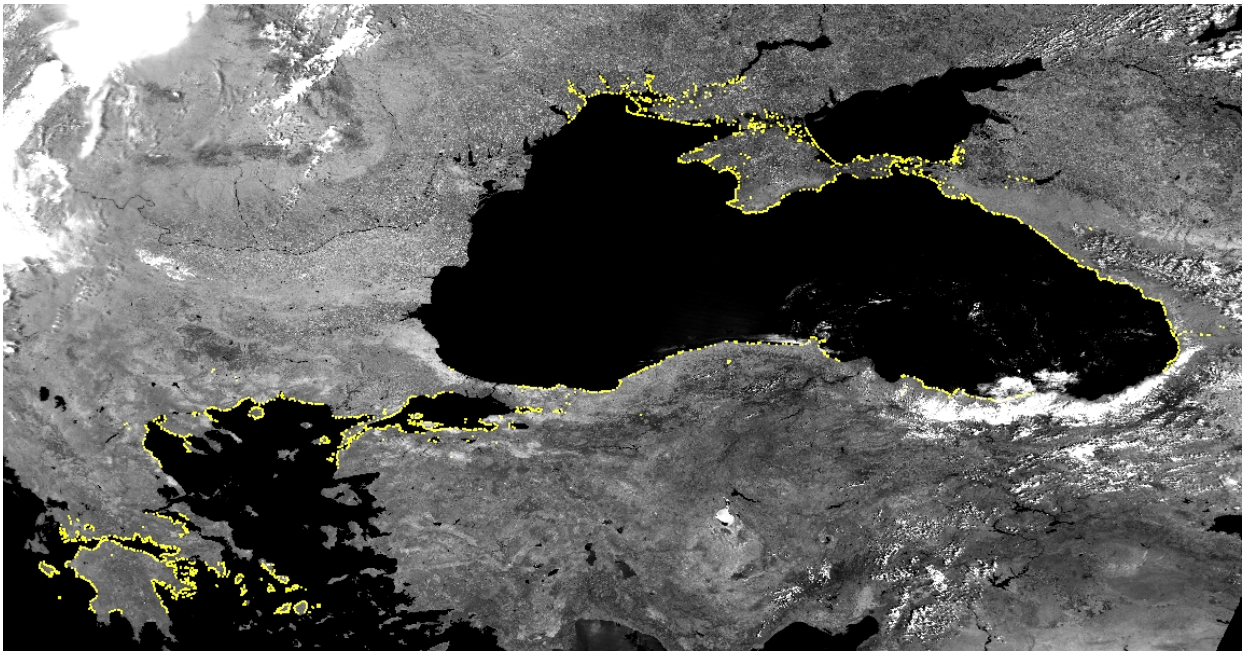


Рис.6.2.2.1 - Распределение контрольных точек в районе Черного и Эгейского морей (КТ показаны желтым цветом (при разрешении данного изображения снимка в 1 км многие КТ сливаются)

На рис.6.2.2.2 на примере каналов камеры МСУ-201показано распределение углов ϑ и φ, определяющих направление наблюдения соответственно вдоль и поперек трассы полета, для детектированных КТ, а также остаточные отклонения этих углов от аппроксимирующей проекционной функции. Величина среднеквадратического отклонения, отнесенная к угловому разрешению камер, лежит в пределах 0,2-0,4 пикс.

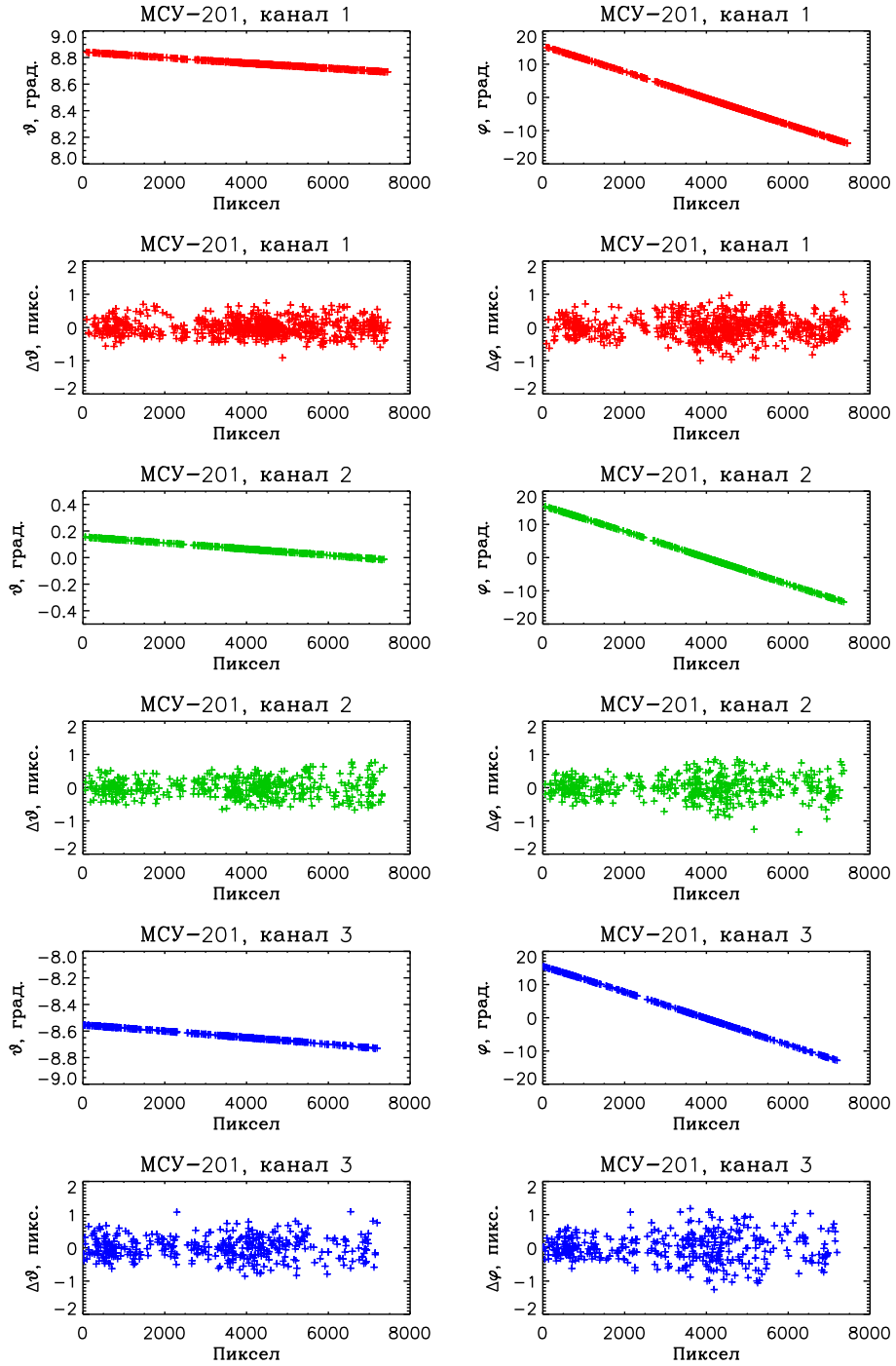


Рис.6.2.2.2 - Распределение углов наблюдения контрольных точек ϑ и φ и их остаточных отклонений от аппроксимирующей проекционной функции

6.2.3 Особенности формирования звездных каталогов датчиков ориентации космических аппаратов.

Бортовой каталог звезд в датчике ориентации представляет собой его метрологическую основу. Несоответствие бортового каталога наблюдательным возможностям прибора ведет к появлению различных ошибок измерения, многие из которых имеют скрытый характер. Такие ошибки обнаруживаются только в тех случаях, когда на борту КА или в наземных системах имеются более точные средства независимого контроля параметров углового движения. Физическим причинам несоответствия бортовых каталогов приборов оценкам величин возникающих ошибок измерения и возможным способам их устранения посвящен ряд работ.

Рассматривались два основных подхода к решению задачи согласования бортовых каталогов с наблюдательными возможностями различных типов звездных датчиков ориентации. Один из них основывается на статистической обработке данных прямых измерений, выполняемых звездными датчиками ориентации в полете. Назовем этот метод статистическим. Второй предполагает более общий подход. В его основе лежит новейший современный каталог звезд, работа над которым сейчас идет в Европейском космическом агентстве в рамках проекта Gaia, и предельно точная математическая модель звездного датчика ориентации. Этот метод назовем методом математического проектирования.

Оба подхода рассматриваются в работе как взаимно дополняющие друг друга, имеющие свои преимущества и недостатки, многие из которых пока еще далеко не очевидны.

Статистический метод анализа данных и коррекции бортовых каталогов звездных датчиков ориентации

Накопленный за последние два года опыт разработки и применения статистического метода (Аванесов, Бессонов и др., 2018; Аванесов, Снеткова и др., 2018; Аванесов, Куркина и др., 2018; Ахметов и др., 2017) к анализу первичных данных, получаемых с помощью звездных датчиков ориентации, а также выполненные эксперименты по коррекции фрагментов бортовых каталогов позволяют достаточно уверенно говорить о его достоинствах, перспективах использования и недостатках.

На рис. 6.2.3.1 показана схема, в рамках которой в настоящее время реализуется статистический метод коррекции бортового каталога. «Сырая» информация от бортовых звездных датчиков в виде измеренных ими координат звезд на фотоприемной матрице и сопутствующей информации подвергается обработке бортовым алгоритмом.

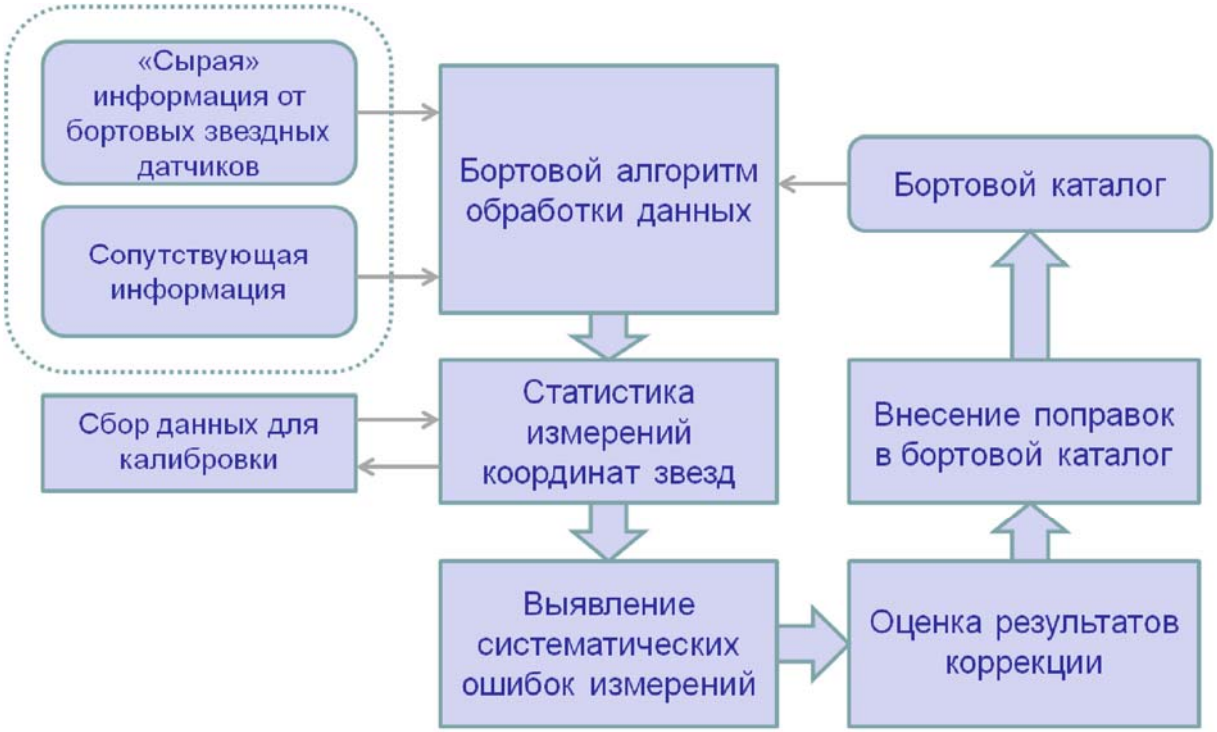


Рис. 6.2.3.1 - Статистический метод анализа данных и коррекции бортового каталога звездного датчика ориентации

Промежуточные результаты вычислений остаточных рассогласований dAl и dDt, получаемые на этапе уравнивания измеренных и каталожных координат звезд методом наименьших квадратов, накапливаются и подвергаются статистическому анализу. Дальнейшая систематизация данных организуется в виде наборов измерений координат каждой каталожной звезды. Количество измерений координат каждой звезды может быть весьма велико, порядка десятков тысяч. По ним можно судить о величине случайной S и систематической L ошибок измерения. Вычисленные координаты звезды образуют на фрагменте карты небесной сферы некоторое облако, центр которого либо совпадает, либо отстоит на величину L от каталожного значения, как это показано на рис. 6.2.3.2. Осредненные значения случайных ошибок измерения dAl_{cp} и dDt_{cp} указывают на величину систематической ошибки измерения и вносятся в бортовой каталог в качестве поправок. Далее проводится проверка внесенных исправлений. Для этого из базы данных снова берутся «сырые» измерения. По ним заново проводятся измерения координат звезд с использованием откорректированного каталога. Процедура повторяется несколько раз. Если при очередном анализе статистики выясняется, что величина систематических ошибок измерения координат звезд уменьшилась до заданной величины, считается, что задача коррекции каталога выполнена.

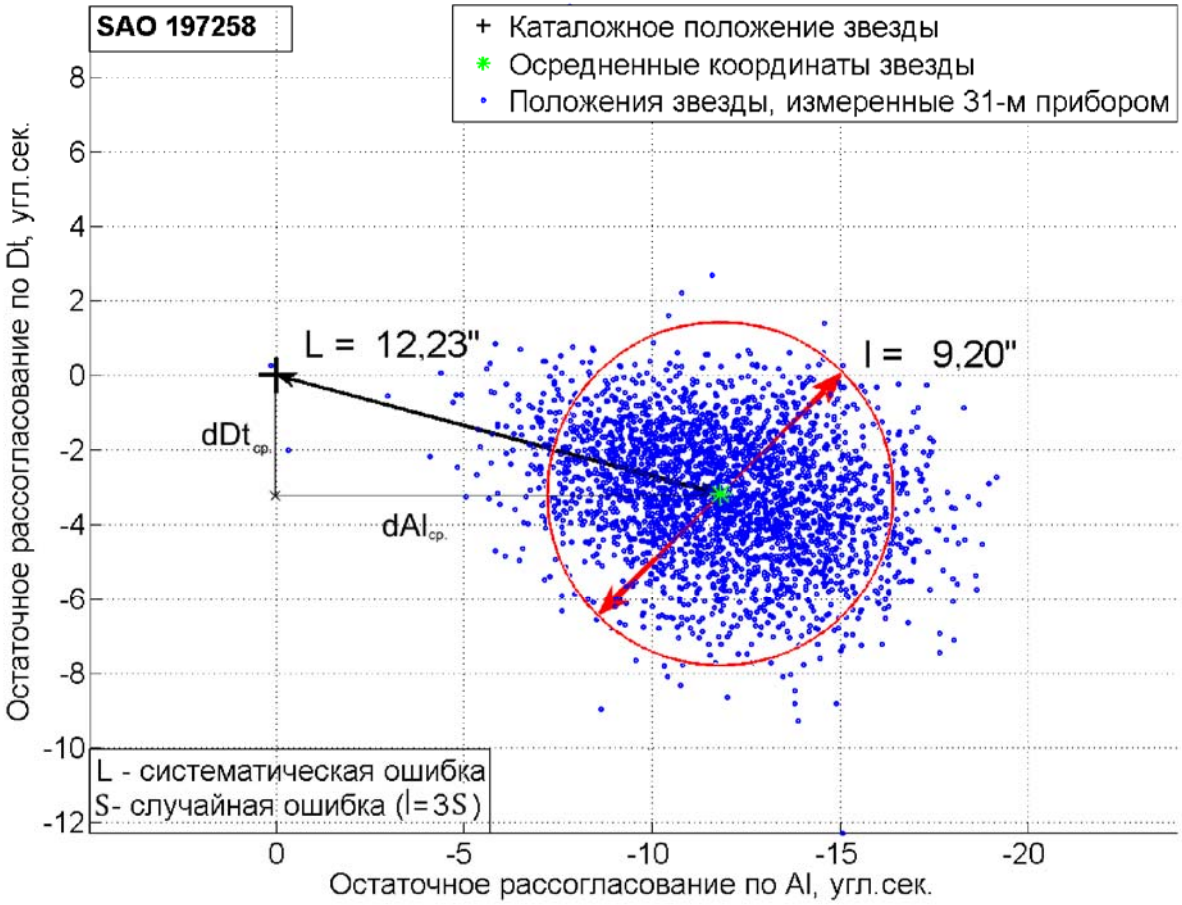


Рис. 4.6.2.3.2. Иллюстрация применения статистического метода к анализу ошибок измерения координат звезд

К числу достоинств метода можно отнести относительную простоту его реализации, достаточно высокую эффективность и перспективу бортового применения.

Выполненный на борту КА «Ресурс-П» №3 в 2016–2017 гг. эксперимент по исследованию работы звездных датчиков ориентации БОКЗ-М60 показал, что применение более сложных, чем используются на борту, алгоритмов и программ обработки может повысить точность измерения параметров ориентации КА в 2–3 раза без изменения конструкторских и схемотехнических решений в бортовых приборах. Для этого была организована передача «сырых» данных, формируемых бортовыми приборами, на наземные пункты приема и налажена их обработка в близком к реальному масштабу времени.

Во время проведения эксперимента наземными средствами выполнялась виртуальная калибровка бортовых каталогов датчиков ориентации, установленных на борту КА «Ресурс-П» № 3 по звездам. Сами каталоги не корректировались, но из них исключались звезды, имеющие аномально большие систематические ошибки измерения. Этих действий было достаточно для значительного повышения точности измерения параметров углового движения КА, что подтверждалось независимым методом через оценку точности геопривязки снимков земной поверхности, полученных полезной нагрузкой аппарата.

Статистический метод анализа данных, получаемых звездными датчиками ориентации, в это время еще только начинал формироваться. Вскоре он позволил выявить причины появления систематических ошибок в измерениях координат звезд и указал на целый ряд недостатков в технических и методических решениях, используемых при настройке звездных датчиков ориентации.

Исследования показали, что причиной небольших систематических ошибок, величиной в несколько угловых секунд, как правило, оказывается одна или несколько звезд 10–12

звездной величины, которые расположены на очень маленьком, порядка десятков угловых секунд, расстоянии от каталожной звезды. Приборы, имеющие цену младшего разряда в 6–10 электрон, это прекрасно чувствуют. Большинство звезд бортового каталога имеет такое соседство. Зная о нем, достаточно внести небольшую поправку в координаты таких звезд.

Причиной появления больших систематических ошибок до 30″ во всех исследованных случаях стало присутствие в радиусе 4–10 пикселей от центра яркости каталожной звезды другой достаточно яркой соседки. Поскольку в бортовой каталог включаются наиболее яркие звезды данного участка, соседняя звезда обычно оказывается на две, три звездные величины слабее каталожной.

Напомним, что прибор БОКЗ-М60 имеет угловое разрешение 55″/пиксель. Для вычисления координат звезды на матрице с внутрипиксельной точностью используется центроидный метод. Это значит, что в процесс измерения вовлечена достаточно большая, до нескольких десятков, компактно расположенная группа пикселей, покрывающая на небесной сфере весьма значительную площадь.

Наличие систематических ошибок в измерениях координат звезд приводит к появлению систематических ошибок в вычисляемых по ним параметрам ориентации КА. При этом совокупные ошибки одной группы звезд не совпадают с совокупными ошибками других групп. Таким образом, формируется блуждающая систематическая ошибка измерения параметров ориентации КА, величина и направление которой зависят от систематических ошибок в измерениях координат используемой в каждый данный момент группы звезд.

Для прибора БОКЗ-М60 величина блуждающей систематической ошибки может доходить до ±3″. Обнаруживается такая ошибка только при наличии на борту других, более точных, средств измерения параметров ориентации КА, либо путем постобработки, когда доступна вся совокупность измерений за достаточно большой отрезок времени.

Значительно уменьшить, а, возможно, и полностью исключить систематические ошибки в измерениях координат звезд можно, введя соответствующие поправки в координаты звезд бортового каталога. Именно такой путь указывает статистический метод анализа первичных данных. Однако выполнять такие действия имеет смысл после того, как исчерпаны все остальные возможности. Здесь, в первую очередь, речь идет о возможности повышения точности локализации звезды путем более точного выбора порога отсечки. Поскольку наибольшие возмущения создают соседние с каталожными звезды до 9–9,5m, их влияние можно учесть еще на этапе составления бортового каталога с использованием методов математического моделирования. Для этого достаточно каталога звезд Hipparcos.

Влияние менее ярких звезд 9,5–13m, световой поток от которых накладываются на пиксели локализованной каталожной звезды, также можно учесть, располагая соответствующим звездным каталогом и используя методы математического моделирования.

В результате таких действий в бортовой каталог войдут рекомендуемые величины порога отсечки, обусловленные астрономическими факторами. Вот здесь и обнаруживается серьезный недостаток в организации эксперимента по исследованию работы приборов БОКЗ-М60 на борту КА «Ресурс-П» №3. На Землю передавались измеренные приборами координаты звезд на фотоприемных матрицах. Это значит, что локализация звезд была выполнена на борту с использованием вычисленных приборами порогов отсечки, не способных учесть влияние соседних звезд. В будущих проектах следует учесть допущенную ошибку и перейти к передаче еще более «сырой» информации – значений яркости пикселей в окнах, где производится локализация звезд.

Анализ большого числа измерений показывает, что статистические данные по каждой звезде «размываются» по различным причинам как приборного происхождения, так и в результате воздействия внешних факторов. Наиболее характерные причины приборного происхождения связаны с неоднородностью чувствительности прибора по полю зрения и конечная точность геометрической калибровки. Свой вклад в «размывание» статистики вносят и вычисления порога отсечки. Даже незначительные его флуктуации приводят к изменению числа пикселей, используемых для вычисления положения центра звезды на матрице.

Внешние факторы носят эксплуатационный характер. Небольшие изменения угловой скорости движения КА и положения приборов по отношению к Солнцу ведут к изменениям в результатах измерения координат звезд.

Возникает естественный вопрос о том, что можно считать достоверной статистикой. Пока нет ответа на этот вопрос. Можно лишь отметить, что статистические данные об ошибках в измерениях координат звезд за разные сутки не совпадают. Вполне возможно, что это результат комбинированного воздействия внутренних и внешних факторов. Появляются и решения, позволяющие повысить достоверность статистики. Например, использовать для накопления статистических данных о координатах звезд только центральную часть поля зрения прибора, что может избавить статистику от искажений, связанных с неоднородностью чувствительности прибора по полю зрения и от погрешностей его геометрической калибровки. При этом время, необходимое для накопления статистически достоверного объема данных по каждой звезде, многократно возрастет.

Относительная простота реализации статистического метода дает основание предполагать, что в наземном варианте исполнения он получит дальнейшее развитие. Однако очень привлекательно выглядит бортовая версия метода, в котором коррекция каталога могла бы быть совмещена с задачей периодической калибровки звездных датчиков ориентации. Малогабаритное вычислительное устройство могло бы совместить в себе обе эти функции и выполнять их параллельно сразу для нескольких бортовых приборов. Особенно перспективным такое решение представляется для долговременных миссий, когда одной из причин снижения точности измерений становится старение приборов.

В пользу бортового использования статистического метода говорят и его недостатки. Метод не универсален. Уточненный на статистической основе бортовой каталог звезд может использоваться только в среде идентичных по основным техническим характеристикам и настройкам приборов. Для приборов с другим угловым разрешением потребуется снова получать «сырые» данные с борта КА, набирать статистику и по накопленным данным измерять величины поправок в бортовой каталог. Кстати, геометрическая калибровка звездных приборов тоже носит индивидуальный характер.

Можно и далее перечислять недостатки статистического метода, однако практика показала высокую эффективность его использования, во всяком случае, в наземном варианте в целях повышения точности геопривязки материалов космической съемки.

Метод математического проектирования бортовых каталогов звездных датчиков ориентации

Метод математического проектирования (ММП) бортовых звездных каталогов предполагает, что реальная небесная сфера в компьютерной программе замещается самым полным на сегодняшний день астрономическим звездным каталогом, а вместо звездного датчика ориентации используется его математическая модель. Их взаимодействие устанавливается с помощью специальной программы, которая обеспечивает выборку группы звезд из каталога, моделирует прохождение светового потока от них через оптическую систему звездного датчика, реакцию на него матричного фотоприемного устройства и воспроизводит особенности используемого в приборе процесса измерения координат. В результате работы программы должен быть получен список звезд бортового каталога, в координаты которых внесены поправки, вычисленные с учетом особенностей ближайших окрестностей каждой из них и наблюдательных возможностей используемого прибора.

На рис. 6.2.3.3 показана схема, в рамках которой предполагается реализация метода математического проектирования звездных каталогов для датчиков ориентации.

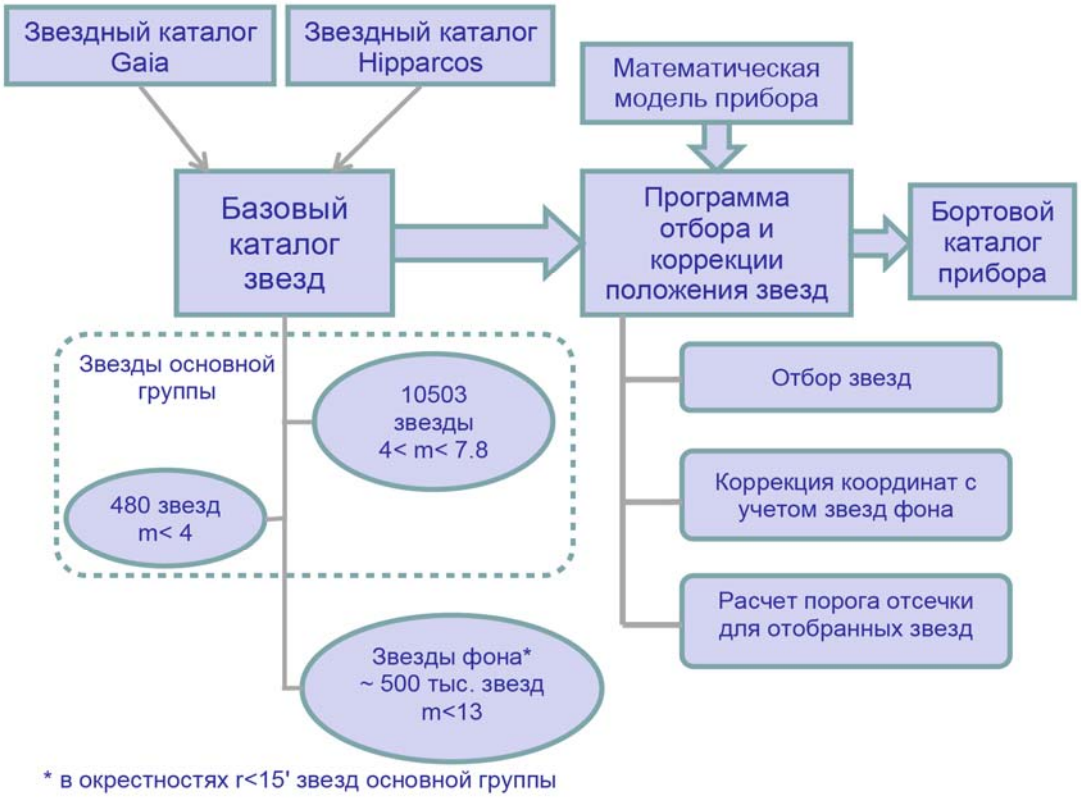


Рис. 6.2.3.3 - Метод математического проектирования бортовых каталогов

Предполагается, что ММП будет использоваться для оптимизации бортовых каталогов звездных датчиков ориентации различных типов. Приборы, а, соответственно, и их модели, могут отличаться друг от друга размером поля зрения, угловым разрешением, спектральными характеристиками и другими параметрами, которые определяют оптимальный для каждого из них состав звезд бортового каталога.

Чтобы облегчить отбор звезд для практической реализации ММП планируется создать специальный каталог, который условно назовем «базовым». Основу базового каталога составят ~ 11000 звезд, отобранные ИКИ РАН по каталогам SAO и Hipparcos и используемые в звездных датчиках ориентации семейства БОКЗ уже на протяжении почти 30 лет.

В составе основной группы специально выделено 480 самых ярких звезд. Значительная часть из них вообще не используются в бортовых каталогах, но в базовом каталоге они необходимы, чтобы учесть их влияние через передаточную функцию оптической системы прибора на близко расположенные звезды каталога. С этой же целью в состав базового каталога вводится еще около 500000 звезд до 13m, находящихся в ближайшем окружении каталожных звезд в радиусе до 15′. Указанный радиус учета влияния соседних звезд выбран, исходя из наиболее низкого углового разрешения, используемого в приборах семейства БОКЗ (БОКЗ-МФ имеет угловое разрешение около 2′/пиксель), а также с учетом применяемого в них центроидного метода измерения координат звезд. Выбранная для базового каталога предельная звездная величина учитывает существующую сегодня реальную чувствительность приборов и перспективу ее роста в ближайшем будущем.

В качестве исходных данных для составления базового каталога планируется использовать новейший звездный каталог, разрабатываемый Европейским космическим агентством в рамках проекта Gaia (Gaia Archive - ESA). Доступ к первой редакции этого каталога был открыт уже в 2016 году. К сожалению, тогда в каталоге еще отсутствовали звезды ярче 7m, которые чаще всего используются в звездных датчиках ориентации. Их недостаток на том этапе работы компенсировался с помощью каталога Hipparcos. Кроме того, в первой редакции каталога Gaia отсутствовали спектральные характеристики звезд.

В апреле 2018 года вышла вторая редакция каталога Gaia. Он пополнился недостающими данными, что превращает составление базового каталога в рутинную операцию.

Наиболее сложной частью решения задачи практической реализации ММП является разработка высокоточной математической модели звездного датчика ориентации. Модель должна соответствовать прибору в такой же степени, как всенебесный каталог звезд Gaia соответствует реальной небесной сфере, во всяком случае, в той его части, которая касается излучательных способностей звезд, их положения на небесной сфере и данных о параметрах собственного движения. На сегодня наиболее реальный путь сертификации математической модели прибора заключается в использовании для этой цели статистического метода анализа данных.

На данный момент программа отбора и коррекции положения звезд работает в тестовом режиме. Макет базового каталога содержит пока около 300 звезд основной группы и нескольких тысяч звезд окружения. Идет отладка математической модели прибора путем сравнения получаемых с ее помощью результатов с экспериментальными данными, полученными как во время космического эксперимента, так и путем съемки звезд при специально организованных наземных наблюдениях.

Рассмотрим первые результаты практического применения ММП на примере материалов, полученных при съемке участка небесной сферы с земной поверхности. Съемка была организована специально для оценки возможности построения достаточно точной математической модели прибора.

В этом эксперименте предпочтение было отдано наземной съемке из-за того, что получаемые при этом материалы содержат полный объем первичной информации. «Сырая» информация в космическом эксперименте содержала вычисленные бортовым прибором координаты звезд на фотоприемной матрице. Это, как показала практика, сильно обедняет возможности анализа первичных данных.

Наземная съемка выполнялась с помощью прибора БОКЗ-М60, установленного на поворотную платформу. Особенность этого прибора заключается в том, что в режиме начальной ориентации он использует 8-разрядное кодирование данных. При переходе в режим слежения включается 12-разрядное кодирование. По условиям эксперимента прибор не переходил в режим слежения. Таким образом, все полученные в процессе съемки кадры 8-разрядные, цена младшего разряда равна ~100 электрон. В таком режиме прибор практически теряет чувствительность к присоединению к каталожным звездам слабых источников света, но сохраняет восприимчивость к близкому соседству звезд, отличающихся на 2-3 звездные величины.

Всего в процессе съемки было получено 119 кадров с интервалами между ними 8 с. Для имитации условий наблюдения звезд при разных азимутальных углах, после каждого кадра съемки платформа поворачивалась на угол в 10°. В результате была отснята показанная на рис. 4а площадка диаметром 13°, на которой находятся 32 звезды, входящие в состав бортового каталога.

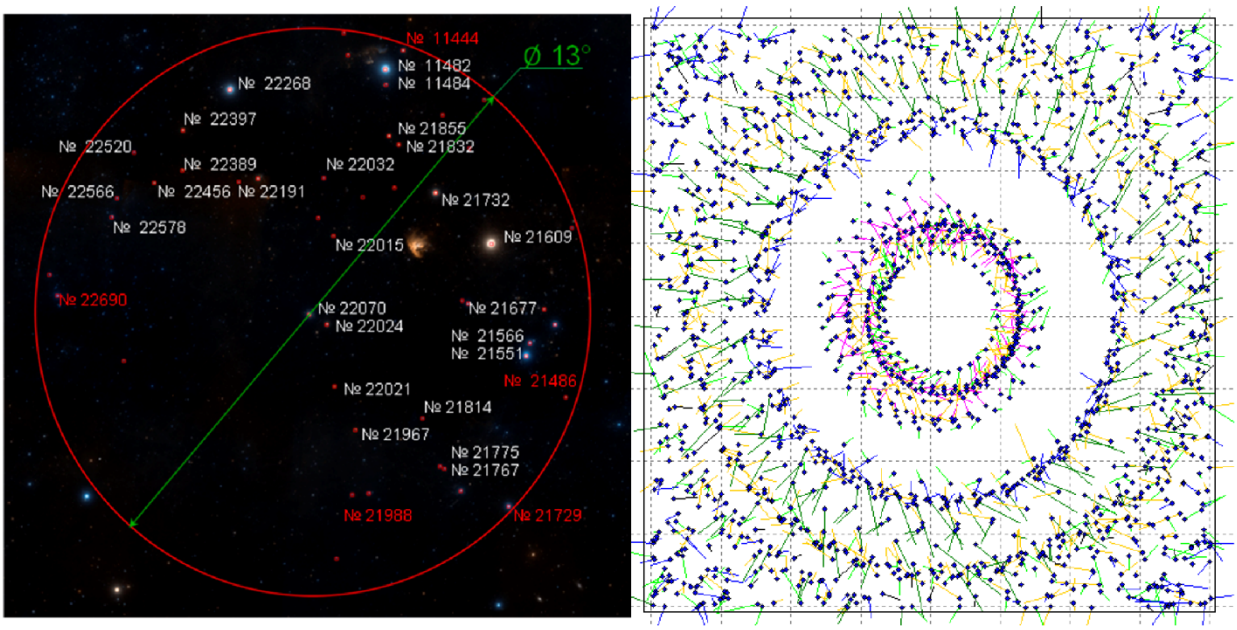


Рис. 6.2.3.4 - а) – Карта участка небесной сферы и б) – ее отображение на фотоприемной матрице в 119 кадрах съемки

За счет вращения платформы изображения звезд образовали на фотоприемной матрице концентрические окружности, показанные на рис. 6.2.3.4б. Цвета исходящих из звезд отрезков, обозначающие увеличенные в 200 раз величины остаточных рассогласований, соответствуют их спектральным классам.

Список каталожных звезд площадки приведен в табл. 6.2.3.1. Звезды, отмеченные на рис. 6.2.3.4а красным цветом, попадали в поле зрения прибора всего по нескольку раз и в таблицу не включены. Остальные 27 звезд в достаточной степени проявили свою индивидуальность, которая ниже будет проиллюстрирована примерами.

Таблица 6.2.3.1 - Основные характеристики звезд исследуемого участка. Звезды в таблице ранжированы по убыванию величины систематической ошибки L

	N SAO	*m*	*Sp*	*Br*	*Nel*	*Al, °*	*Dt, °*	*dAlcp., "*	*dDtcp., "*	*L, "*	*N*	*СКО dAl, "*	*СКО dDt, "*	*S, "*
1	22191	5,3	F5	332	12	20,28	58,32	-15,67	-4,94	9,60	119	5,34	2,62	3,83
2	21732	3,6	F8	972	11	12,53	57,90	8,69	-2,83	5,42	115	13,07	3,01	7,57
3	21775	6,2	A0	56	5	13,13	51,66	3,70	4,38	4,94	14	4,43	3,32	4,31
4	11482	2,8	B0	1275	13	14,43	60,81	6,09	-3,94	4,94	14	28,38	13,31	19,21
5	22015	6,6	K0	85	6	17,01	57,02	-0,86	3,97	3,99	119	4,34	2,15	3,19
6	22520	6,2	B9	46	4	25,85	58,71	-6,12	-2,27	3,90	5	6,92	3,12	4,76
7	22024	5,3	G5	274	9	17,34	55,00	6,14	-1,66	3,89	119	4,09	2,20	3,21
8	21489	4,9	B8	264	7	8,17	54,61	3,06	3,19	3,65	14	3,99	9,66	9,94
9	21566	3,7	B3	682	10	9,48	53,99	5,75	0,26	3,39	27	15,65	7,48	11,86
10	22578	6,2	A0	60	6	26,47	57,17	-4,45	1,84	3,03	11	4,20	3,29	4,00
11	22268	2,8	A5	1106	12	21,73	60,32	3,13	-2,41	2,87	15	5,67	5,81	6,45
12	22456	5,7	K0	175	7	24,80	58,06	4,72	0,24	2,51	34	5,87	1,97	3,67
13	22566	6,1	A2	58	5	26,35	57,62	-4,48	-0,21	2,41	12	6,46	3,12	4,66
14	22397	4,9	K0	357	8	23,76	59,32	-4,63	-0,06	2,36	22	9,91	2,71	5,74
15	21551	5,1	B5	209	8	9,27	54,26	3,21	0,93	2,09	27	3,23	3,18	3,70
16	11484	5,5	B9	116	6	14,45	60,45	-3,70	-0,77	1,98	23	6,99	3,81	5,14
17	21832	5	K0	383	9	14,00	59,06	-1,87	1,70	1,95	111	4,47	2,22	3,20
18	21855	4,8	K0	428	9	14,42	59,27	-1,13	1,79	1,88	107	4,76	2,44	3,45
19	22032	5,7	B8	125	7	17,40	58,35	3,14	0,37	1,69	119	4,97	2,60	3,69
20	22070	4,5	A5	540	10	18,03	55,24	-1,37	1,37	1,58	119	3,45	2,23	2,97
21	22021	6,5	K0	108	7	17,04	53,59	-1,94	-0,92	1,47	119	4,38	2,81	3,83
22	21767	6,5	A5	47	4	12,98	51,60	0,23	1,26	1,27	8	2,78	2,72	3,22
23	21967	6,3	K2	130	7	16,26	52,59	-1,29	-0,96	1,24	118	4,31	2,37	3,54
24	21677	5,5	A0	175	8	11,56	55,31	0,56	1,08	1,13	108	4,99	2,52	3,80
25	22389	6	0	178	7	23,63	58,41	0,59	1,07	1,11	62	5,18	1,93	3,33
26	21814	6,2	A0	66	6	13,69	52,78	0,68	0,91	1,00	91	4,01	3,16	3,98
27	21609	2,5	K0	1695	16	10,36	56,63	1,27	0,29	0,76	81	10,77	5,47	8,06

В табл.4.6.2.3.1 введены следующие обозначения:

N_SAO, m, Sp – номер, звездная величина и спектральный класс звезд по каталогу SAO;

Al, Dt – координаты звезды по бортовому каталогу;

Br – средняя интегральная яркость звезды (в градациях АЦП);

Nel – среднее по всем измерениям количество пикселей в звезде;

dAlcp. и dDtcp. – средние значения dAl и dDt за всю серию кадров;

L – систематическая ошибка измерения координат звезды на небесной сфере в угловых секундах;

N – количество кадров, на которых звезда была распознана;

СКО_dAl, СКО_dDt – среднеквадратичные отклонения остаточных рассогласований по прямому восхождению и склонению звезды в угловых секундах;

S – случайная ошибка измерения координат звезды в угловых секундах.

Из табл. 6.2.3.1 видно, что из 27 звезд 10 имеют систематическую ошибку измерения хуже 3″ и лишь одна измерена с точностью лучше 1″.

Перечисленные в таблице звезды вместе со звездами окружения до 13m включены в макет базового каталога, используемого для реализации ММП.

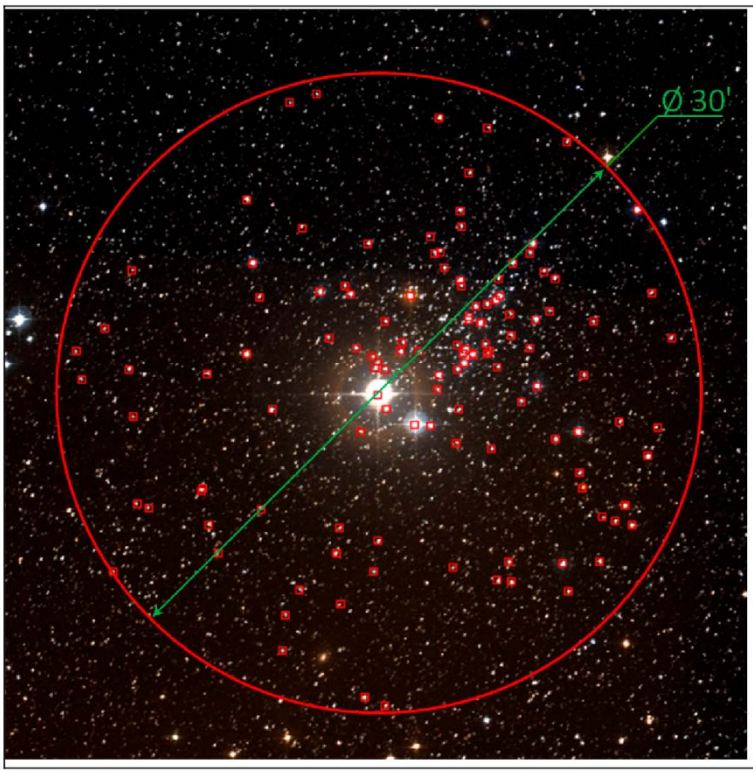
Звезда SAO 22191 в табл. 6.2.3.1 занимает первую строку, т.е. имеет максимальное значение систематической ошибки на выбранной для исследования площадке. Именно по этой причине выберем ее для оценки работы моделирующей прибор программы.

Звезда SAO 22191 и ее окружение показано на рис. 5, взятом из Паломарского обзора, таблица «соседей» составлена по первой редакции каталога Gaia. Большая величина

систематической ошибки измерения ее координат очевидным образом связана с ее окружением и неправильно выбираемым порогом отсечки.

Как видно из рис. 6.2.3.5 и помещенной в нем таблицы, в радиусе 15′ от звезды SAO 22191 находятся 124 звезды с магнитудой до 13m. Из них в радиусе 3′ от нее находятся 14 звезд, одна из которых, под номером 8, имеет звездную величину 6,8. С учетом относительно низкой чувствительности прибора, только она способна внести существенный вклад в ошибку измерения. Вклад остальных 13 звезд будет менее заметен.

В соответствии с сегодняшним уровнем понимания принципов составления бортовых каталогов звезд для датчиков ориентации, звезда со столь близким соседством с другой достаточно яркой звездой не должна была бы использоваться в приборе с угловым разрешением 55″/ пиксель. Они неизбежно сольются в один объект, центр которого будет достаточно сильно отличаться от координат звезды SAO 22191. Однако с точки зрения иллюстрации адекватности моделирующей прибор программы ее наличие в каталоге можно считать удачей.



	r, '	m
1	0,0005	4,871
2	0,8067	12,552
3	1,2147	11,669
4	1,238	11,737
5	1,5331	12,991
6	1,8511	12,618
7	1,9428	12,671
8	2,2352	6,817
9	2,3134	11,664
10	2,45	12,704
11	2,7414	12,174
12	2,7896	12,047
13	2,808	12,918
14	2,8416	10,521
15	2,9822	10,083
…		
125	14,8228	9,452

Рис. 6.2.3.5 - Звезда SAO 22191 и ее окружение по данным Паломарского обзора и по данным первой редакции каталога Gaia (Оцифрованное изображение неба на основе Паломарского обзора (DSS), VizieR, CDS)

На рис. 6.2.3.6 приведены два изображения звезды SAO 22191. Слева показан фрагмент кадра, снятый прибором БОКЗ-М60. Справа показано синтезированное моделирующей программой изображение той же звезды. На левом изображении виден фон, вызванный посторонней засветкой. Съемка звезд проводилась через подсвеченную городским освещением атмосферу. На правом снимке виден звездный фон.

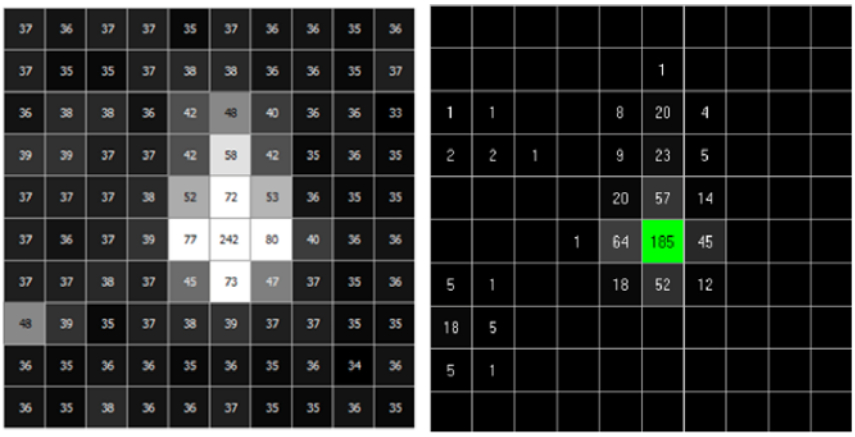


Рис. 6.2.3.6 - Фрагмент кадра с изображением звезды SAO 22191:
а) полученный при съемке, б) полученный путем моделирования

Вытянутая вверх форма модельной и оригинальной звезды отражает вполне достоверную картину слияния каталожной звезды с наиболее яркой звездой окружения. При азимуте 130° в выбранном для исследования кадре яркая звезда окружения должна находиться над каталожной звездой. Бортовая программа анализирует атмосферный фон, выбирает порог отсечки 42, локализует сдвоенный объект и вычисляет координаты его центра на матрице.

Моделирующая ММП программа, выполняя локализацию звезды, анализирует звездный фон, и строит график зависимости величины ошибки измерения от величины порога отсечки, показанный на рис. 6.2.3.7. Результаты расчета координат звезды на фотоприемной матрице и на небесной сфере для реального и модельного фрагментов кадра приведены в табл. 6.2.3.2. В данном случае для нас это «1-е приближение».

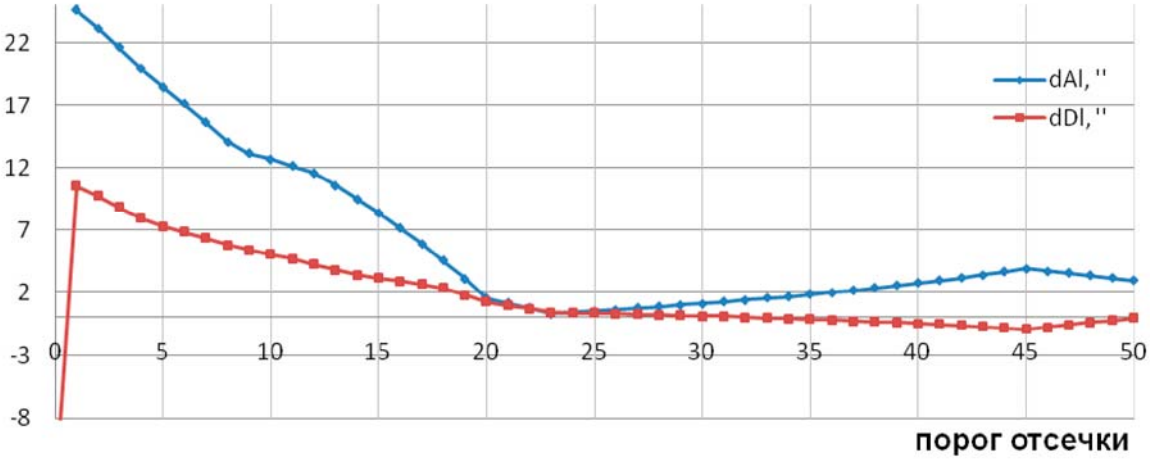


Рис. 6.2.3.7 - Графики зависимости величины ошибки измерения координат звезды SAO 22191 от порога отсечки при фиксированном азимуте

Таблица 6.2.3.2. Результаты расчета координат звезды SAO 22191 при разных значениях порогов отсечки и азимутах

SAO 22191	***1-ое приближение***		***2-ое приближение***		***3-е приближение***	
	По кадру съемки	ММП	По кадру съемки	ММП	По кадру съемки	ММП
Инт. яркость, Br, град. АЦП	391	411	239	280	379	465
Кол-во пикселей, Nel	12	11	5	7	13	12
Порог отсечки, Thr, град. АЦП	42	9	61	25	41	5
X, pix	173,43	0,43	173,41	0,41	157,14	0,14
Y, pix	382,49	0,49	382,67	0,67	98,45	0,45
Азимут, Az, °	130,13	130,00	130,13	130,00	359,47	359,00
dX, mkm	1,99	-0,09	0,39	-0,02	2,48	3,15
dY, mkm	-2,52	-2,56	0,27	-0,21	1,71	2,62
dAl, "	-4,60	13,15	2,95	1,70	-16,72	20,77
dDt, "	-10,72	5,41	-0,45	0,05	-5,39	8,80

В рамках «1-ого приближения» с помощью моделирующей программы подобран приближенный вариант порога для модельного кадра, в котором примерно совпадают координаты звезды на матрице, значения интегральной яркости и число пикселей. Порог отсечки в модельном кадре оказался равным 9. Полученные при этом ошибки измерения координат звезды dAl и dDt по реальному и модельному кадрам значительно отличаются друг от друга.

Значения порогов для «2-ого приближения» выбирались из следующих соображений. Порог для фрагмента реального кадра бортовая программа выбирала, анализируя уровень окружающего звезду фона, происхождение которого может иметь аппаратную природу, либо, как в нашем случае, быть результатом внешней засветки. Среднее значение фона в данном случае равно 36. В то же время, моделирующая программа выделяет сигнал от звезды, анализируя звездный фон. В соответствии с графиком, приведенным на рис. 6.2.3.7, его оптимальное значение равно 25. Разумно предположить, что оба порога в реальном приборе должны быть суммированы.

Из табл. 6.2.3.2 видно, что полученные при таком пороге ошибки измерения координат звезды имеют приемлемый характер как для реального снимка, так и для модели.

Однако это еще не конец пути. Посмотрим, какие значения примут ошибки измерения координат звезды при различных азимутальных углах. Моделирующая программа умеет строить график зависимости ошибки измерения координат звезды от азимутального угла при фиксированном пороге отсечки, показанный на рис. 6.2.3.8. При вращении по азимуту происходит перераспределение потока поступающих на пиксели матрицы фотонов, что влияет на величину ошибки измерения. Свой вклад в ошибку измерения вносит и асимметрия фигуры сдвоенной звезды.

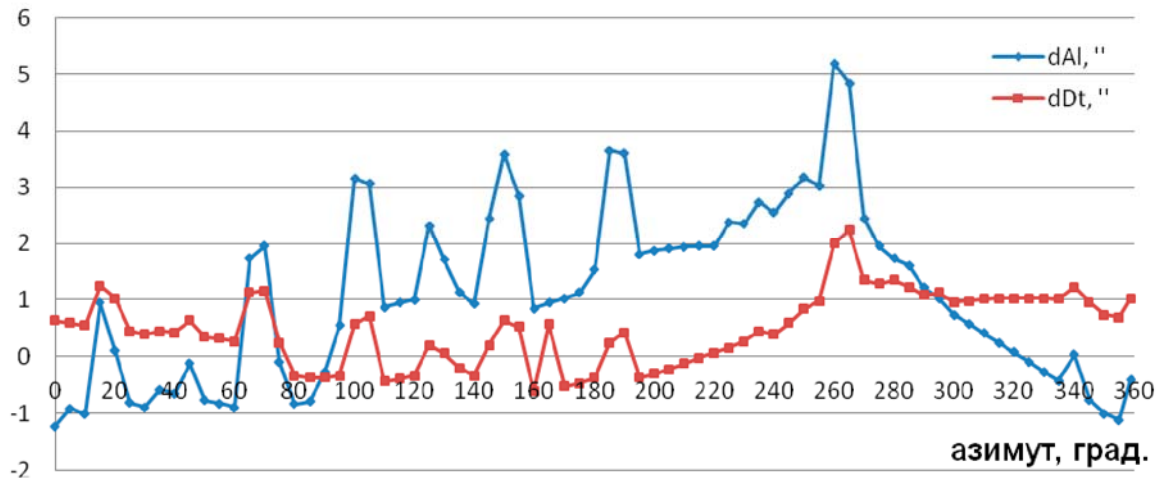


Рис. 6.2.3.8 - Зависимость величины ошибки измерения координат звезды SAO 22191 от азимута при пороге отсечки 25

Обработка реального изображения звезды SAO 22191, полученного при азимутальном угле около 359°, подтверждает правильность модельных расчетов, что видно из табл. 6.2.3.2 в «3-ем приближении».

В целом, моделирующая прибор программа вполне адекватно передает особенности достаточно сложной звезды SAO 22191 и может использоваться далее для составления макета бортового каталога небольшого участка небесной сферы, что и планируется сделать в самое ближайшее время. Что же касается самой звезды SAO 22191, то ее использование в бортовом каталоге прибора с угловым разрешением 55″/пиксель возможно при пороге отсечки, вычисленном с учетом влияния соседней звезды, но нежелательно.

Проверенная на других звездах моделирующая программа дает хорошее совпадение с экспериментальными данными. В системе координат матрицы точность совпадения оценивается примерно в 0,5 мкм. В системе небесных координат ошибка не превышает 1,5–2,5″, что для начала совсем неплохо.

Заключение

Как следует из изложенного, оба рассматриваемых метода приведения бортовых звездных каталогов в соответствие с наблюдательными возможностями датчиков ориентации, находятся в стадии разработки. Их различия заключаются в том, что в основе статистического метода лежат реальные измерения, получаемые звездным датчиком ориентации в процессе наблюдения звезд небесной сферы, а в методе математического проектирования – и то и другое замещается моделями. Модель небесной сферы на основе каталога Gaia не вызывает сомнений, в то время как возможность построения достаточно точной математической модели звездного датчика ориентации, несмотря на приведенные здесь обнадеживающие результаты, остается под вопросом. Необходимо провести большую работу по уточнению математической модели прибора и по ее верификации, которую разумно выполнять путем сравнения с результатами реальных измерений, т.е. с использованием статистического метода.

При этом надо понимать, что полномасштабное использование метода математического проектирования бортовых звездных каталогов потребует значительных интеллектуальных затрат на создание достаточно сложных программ и технологий, обеспечивающих оптимизацию. Однако цель оптимизации – избавить приборы от систематических ошибок в измерениях координат звезд, обусловленных астрономическими факторами, оправдывает

затраты. В качестве основного результата этой работы можно ожидать, что высокая точность измерения параметров ориентации будет достигаться с помощью нового поколения малогабаритных звездных приборов, что принципиально важно для изделий космической техники.

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"в рамках тематики дистанционного мониторинга природных и антропогенных процессов, объектов и явлений, включает мероприятия, направленные на широкое распространение новых знаний в научном сообществе, встречи ведущих специалистов для продуктивного обсуждения актуальных задач, новых методов и их физических основ, передачу опыта и обучение молодых ученых. С этими целями были проведены работы по организации научных встреч, издательской и информационной деятельности, в том числе в сети Интернет.

В 2018 году в рамках работ по теме "Мониторинг-инфраструктура" были запланированы следующие работы и научно-образовательные мероприятия:

- Проведение ежегодных Всероссийских открытых конференций "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса"**.**
- Проведение Всероссийских научных школ-конференций по фундаментальным проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса.
- Проведение международных Школ-семинаров «Спутниковые методы и системы исследования Земли»**.**
- Выпуск журнала "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса".
- Проведения работ по подготовки и повышению квалификации кадров на базе Научно-образовательного центра ИКИ РАН**.** В том числе :
  - Участие в проведении дней "открытых дверей" и экскурсий в ИКИ РАН, а также научно-образовательных лекций для школьников, студентов и аспирантов в части представления возможностей направления "Дистанционного зондирования и Исследования Земли из Космоса";
  - Проведение конкурса работ молодых ученых, работающих в области дистанционного мониторинга Земли, природных и антропогенных процессов**;**
  - Научно- методическое обеспечение работ базовых кафедр ИКИ РАН и образовательных курсов, проводимых специалистами ИКИ РАН по направлению "Дистанционного зондирования и Исследования Земли из Космоса".

Настоящий раздел посвящен описанию мероприятий, выполненных в рамках направления "Мониторинг-Инфраструктура" в 2018 г.

7.1. Проведение ежегодных Всероссийских открытых конференций "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса" (пункт 4.7.1 плана работ на 2018 г.)

12-16 ноября 2018 г. в Институте космических исследований Российской академии наук была проведена Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Работа конференции осуществлялась в рамках следующих секций:

- пленарные заседания, одно из которых было посвящено Российским информационным системам дистанционного мониторинга;
- 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;
- космическое приборостроение и развитие целевой аппаратуры наблюдений и технологий: состояние и перспективы развития.

Всего на Конференции было представлено 509 докладов, из них 268 устных и 241 стендовых. Для участия в конференции зарегистрировалось 725 человек, из 6 стран, 54 городов и из более чем 200 организаций. В заключительный день конференции было проведено выездное пленарное заседание в Научном центре Оперативного мониторинга Земли АО «Российские космические системы» по тематике «Российская система спутниковых наблюдений и технологий: состояние и перспективы развития».
Для обеспечения возможности доступа к информации представляемой на конференции в 2018 годы была организована онлайн трансляция пленарных и части секционных докладов. Возможности трансляции были расширены по сравнению с пятнадцатой конференцией которая проводилась в 2017 года.
Детальная информация о прошедшей конференции, в том числе электронный сборник тезисов конференции и on-line трансляция доступны на сайте конференции по адресу: http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/.
Сборник тезисов также публикуется на сайте Электронной российской библиотеки Elibrary и индексируется в системе РИНЦ.
В 2018 году для повышения доступности и удобства работы был модифицирован сайт конференции.

7.2. Проведение Всероссийских научных школ-конференций по фундаментальным проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса (пункт 4.7.2 плана работ на 2018 г.)

В рамках Шестнадцатой Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» 12 -16 ноября 2018 г. в ИКИ РАН проходила Четырнадцатая Всероссийская научная школа-конференция по фундаментальным проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса. Во время проведения Школы-конференции было прочитано 5 лекций и проведено 2 мастер-класса, которые вызвали огромный интерес не только у молодых, но и у зрелых ученых. Мастер-классы транслировались в on-line режиме по адресу https://youtu.be/6WxhNHqXPtM Молодые ученые представили 56 устных и 48 стендовых докладов.

7.3. Проведение международных Школ-семинаров «Спутниковые методы и системы исследования Земли» (пункт 4.7.3 плана работ на 2018 г.)

12 – 16 апреля 2018 г. в Тарусе на базе представительства Интеркосмос ИКИ РАН провел Девятую международную Школу-семинар: «Спутниковые методы и системы исследования Земли». Было прочитано 9 лекций по различным направлениям дистанционного исследования океана. Две лекции были прочитаны учеными из Абхазского госуниверситета, Институт экологии АНА, Сухум, Абхазия. В работе Школы-семинара принимали участие молодые

ученые из Москвы, Нижнего Новгорода, Твери, Севастополя и Сухума. Молодые ученые представили 11 устных докладов. Для молодых ученых было организовано ознакомление с достопримечательностями г. Таруса. Детальная информация о прошедшей Школе-семинаре, в том числе тезисы и презентации докладов представлены на сайте http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2018.html.
В третьем номере за 2018 г. Вестника Тверского государственного университета, серия География и Геоэкология размещена статья о Международных школах-семинарах «Спутниковые методы и системы исследования Земли» и научные статьи, подготовленные на основе докладов молодых ученых и лекций, представленных на Девятой международной Школе-семинаре.

7.4. Выпуск журнала "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса"(пункт 4.7.4 плана работ на 2018 г.)

В 2018 году было выпущено 5 номеров очередного Пятнадцатого тома научного журнала "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", в декабре 2018 года планируется выпуск очередного номера журнала и специального номера "Космические системы: приборы, методы и технологии". Всего планируется опубликовать около 170 статей.

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

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

7.5. Проведение работ по подготовки и повышению квалификации кадров на базе Научно-образовательного центра ИКИ РАН (2017-2019 год). (пункт 4.7.5 плана работ на 2018 г.) В том числе :

7.5.1 Участие в проведении дней "открытых дверей" и экскурсий в ИКИ РАН, а также научно-образовательных лекций для школьников, студентов и аспирантов в части представления возможностей направления "Дистанционного зондирования и Исследования Земли из Космоса"(пункт 4.7.5.1 плана работ на 2018 г.);

НОЦ ИКИ РАН ежегодно организует конференции и школы молодых ученых, по вопросам исследования и использования космического пространства, организует участие молодых ученых ИКИ РАН в работе профильных школ и конференций, в том числе международных.

В 2018 г. была проведена Конференция молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования», посвященная Дню космонавтики. В конференции принимали участие молодые ученые и аспиранты ИКИ РАН, базовых кафедр МФТИ, а также МГУ им. М.В. Ломоносова, МГПУ им. Ленина, ГЕОХИ, МИФИ. Участвовали представители ГАИШ, ЛГУ, ОмГТУ, МАИ. Были представители из стран СНГ. По результатам конференции издаются Труды конференции (в процессе издания).

В рамках конференции прошла специализированная секция посвященная вопросам ДЗЗ.

В 2018 г. в ИКИ РАН были проведены уже ставшие традиционными «Дни открытых дверей» для школьников (14 апреля, посвященный Дню космонавтики и 6 октября в рамках «Дня космической науки»). Количество посетителей каждого было более 200 человек. В рамках проведенных мероприятий освещались, в том числе, и вопросы связанные с исследованием Земли из космоса.

7.5.2 Проведение конкурса работ молодых ученых, работающих в области дистанционного мониторинга Земли, природных и антропогенных процессов(пункт 4.7.5.2 плана работ на 2018 г.);

В рамках Четырнадцатой 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 101 работа молодых ученых. По результатам конкурса было присуждено 1 первая, 3 вторых и 2 третьих премии, а также 4 поощрительные грамоты.

В рамках конкурса научных работ ИКИ РАН, проведенного в 2018 году, в номинации «Лучшая работа, выполненная молодыми учеными» было присуждено 6 премий, одну из которых за статью «Восстановление интегрального паросодержания атмосферы по данным прибора МТВЗА-ГЯ («Метеор-М» No 2) над поверхностью океана» получил молодой сотрудник 55 отдела Пашинов Е.В.

7.5.3 Научно- методическое обеспечение работ базовых кафедр ИКИ РАН и образовательных курсов проводимых специалистами ИКИ РАН по направлению "Дистанционного зондирования и Исследования Земли из Космоса"(пункт 4.7.5.3 плана работ на 2018 г.).

Продолжается работа **кафедры в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова (МГУ)** на Факультете космических исследований (http://cosmos.msu.ru/). В сентябре 2017 г. на факультете началось обучение по программам магистратуры, в 2018 г. прошел первый прием на специалитет и второй набор в магистратуру.

Одна из программ: Методы и технологии дистанционного зондирования Земли (научный руководитель: зам. директора ИКИ РАН, доктор технических наук Лупян Евгений Аркадьевич). В рамках программы в магистратуре обучается более 30 магистрантов.

Задачи программы "Методы и технологии дистанционного зондирования Земли" формировались с учетом того, что перед факультетом стоят как задачи подготовки специалистов для проведения научных исследований, так и решения различных практических задач, в том числе создание новых методов, технологий и систем, обеспечивающих возможность получения и использования оперативной объективной информации о различных процессах и явления.

Программа спланирована таким образом, чтобы студенты могли научиться разрабатывать методы и программные комплексы для автоматизированной работы с данными современных и перспективных систем ДЗЗ, в том числе развивать методы моделирования различных процессов с использованием информации, полученной на основе данных ДЗЗ. В рамках программы читаются курсы, по проектированию, созданию и внедрению автоматизированных систем сбора, обработки, архивации и представления данных ДЗЗ, обеспечивающих работу со сверхбольшими объемами информации; созданию распределенных систем дистанционного мониторинга различных природных и антропогенных процессов и объектов. В рамках обучения студенты смогут принимают участие в различных научных разработках, связанных с современными технологиями использования данных дистанционного зондирования.

Специалисты ИКИ РАН участвуют в проведении лекций и семинаров, а также руководят курсовыми работами и магистерскими диссертациями.

В 2018 году специалистами ИКИ РАН были разработаны и были прочитаны следующие курсы лекций:

- Методы дистанционного зондирования растительного покрова Земли
- Дистанционное зондирование водных объектов
- Методы построения информационных систем дистанционного мониторинга

В 2017-2019 гг в рамках учебного плана в Университетской гимназии (школе-интернате) МГУ имени М.В. Ломоносова реализуется **Школьный Междисциплинарный проект «Возможности спутниковых систем ДЗЗ».** . В рамках проекта школьниками на базе имеющихся возможностей МГУ и ИКИ РАН создается, в частности, коллективный информационного ресурса для обучения специалистов новым возможностям и технологиям ДЗЗ.

Проект проводится совместно Факультетом космических исследований МГУ, ИКИ РАН, Лабораторией аэрокосмической инженерии МГУ, АО «Российские космические системы».

В рамках проекта школьники :

- знакомятся с основными задачами ДЗЗ, принципами построения современных систем ДЗЗ, включающих орбитальную группировку спутников и наземную инфраструктуру;
- участвуют в разработке прототипа образовательного информационного ресурса на основе новых перспективных технологий работы с данными ДЗЗ;
- принимают участие в разработке и изготовление приемного тракта для приема данных с погодных спутников NOAA и Метеор М2. Организация постоянного приема изображений с указанных спутников, использование полученных данных для предсказания погоды;
- участвуют в Создание банка идей для приложений и сервисов с использованием результатов обработки ДЗЗ.

Специалисты ИКИ РАН участвуют в чтение лекций школьникам и осуществляют руководство проектными работами школьников.

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 Наиболее значимые результаты института, имеющие инновационный потенциал

8.1. Разработка технологий автоматизированной работы с данными спутниковых наблюдений для решения задач дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель и посевов на больших территориях

В настоящее время в ИКИ РАН создана технология автоматизированной работы с данными спутниковых наблюдений, позволяющая решать различные задачи мониторинга сельскохозяйственных земель и посевов. В том числе проводить картографирование сельскохозяйственных земель, контролировать их используемость, оперативно оценивать состояние посевов и т.д. Важно, что данная технология позволяет работать с информацией, получаемой по большим территориям, и обеспечивает различные уровни интеграции (от уровня поля до уровня всей страны). Технология уже активно используется при развитии различных систем мониторинга сельскохозяйственных земель и посевов, в том числе для развития методов работы с данными в развивающейся глобальной системе мониторинга сельского хозяйства (GEOGLAM). В частности, в 2018 году в составе Единой Федеральной информационной системы Земель сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН), развиваемой МСХ РФ, начата эксплуатация подсистемы работы с данными ДЗЗ, созданная на основе данной технологии. Работы по созданию и внедрению технологии ИКИ РАН проводит совместно с различными организациями. В том числе ООО "ИКИЗ", НИЦ "Планета", Аналитический центр МСХ РФ и др.

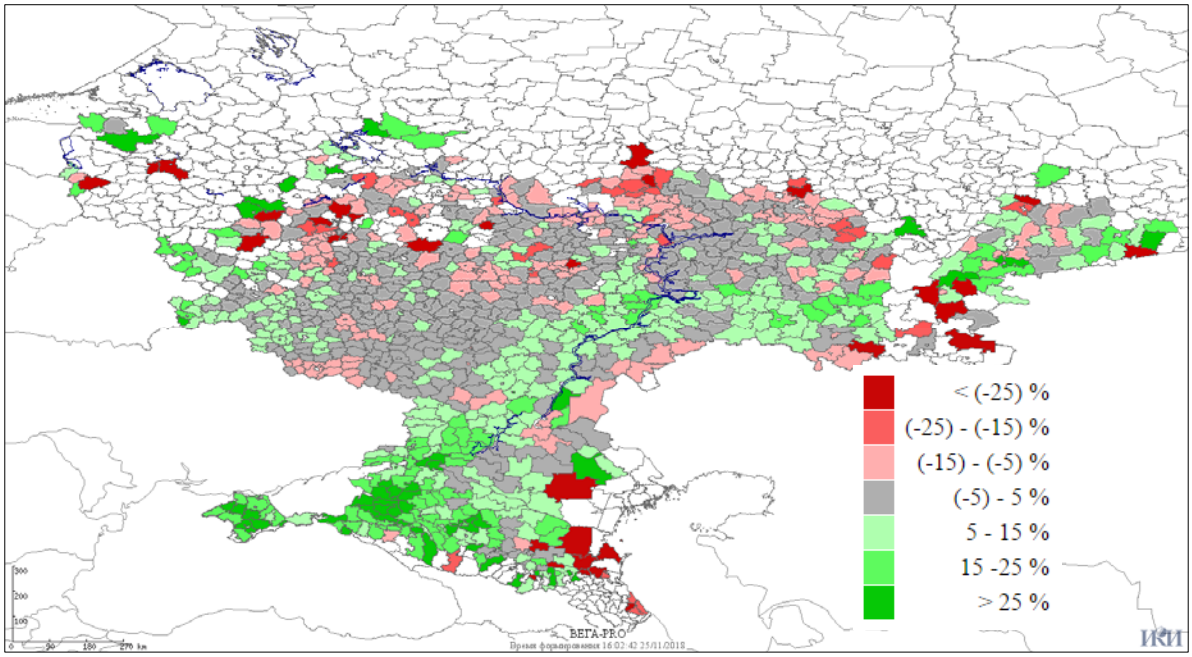


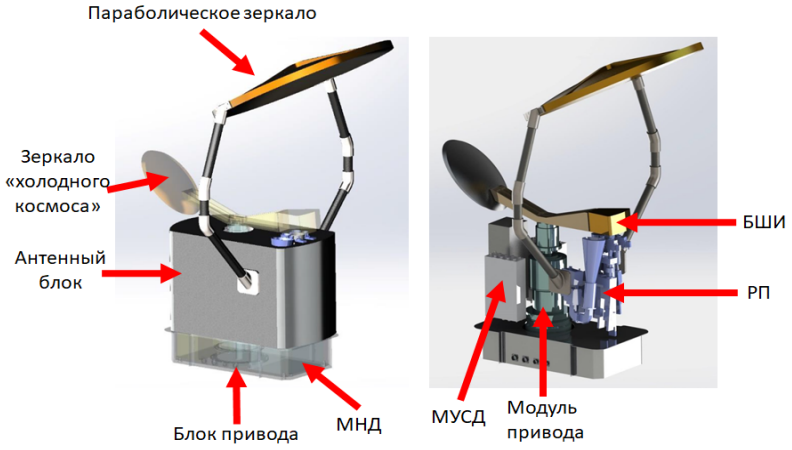
Рис. 1.8.1 - Пример оценки состояния озимых культур сезона 2018-2019 года, полученный по спутниковым данным за неделю 11.11.2018 - 18.11.2018

8.2. Разработка облика микроволнового сканера нового поколения для мезомасштабных задач переноса тепла и массообмена в системе океан-атмосфера, включая телекоммуникационные связи тропической зоны и полярных регионов

Представлен облик микроволнового сканера нового поколения, основной задачей которого является восстановление трёхмерного поля водяного пара в нижней тропосфере для оценки горизонтальной адвекции и конвективных потоков скрытого тепла на различных высотах, наряду с определением основных метеорологических параметров системы океан-атмосфера, таких как интегральные характеристики влажности и водозапаса капельной влаги тропосферы, интенсивность выпадающих осадков, температура морской поверхности, скорость и направление приповерхностного ветра.

Микроволновый радиометр-спектрометр (МИРС) предназначен для измерения радиотеплового излучения атмосферы Земли и её поверхности в микроволновом диапазоне и представляет собой многоканальный радиометр панорамного типа обзора со сканированием пространства лучами, вращающимися вокруг направления в надир (коническое сканирование) под постоянным углом 46,6–51,9° (угол встречи с Землёй 50,7…56,9°) с периодом 1.3 с. При таком способе обзора поверхности Земли для высоты орбиты (410 км) полоса обзора будет составлять 830 км. В антенной системе используются девять рупорных облучателей, которые обеспечивают прием излучения на 22 частотах от 10,65 до 183,3 ГГц, что составляет с учетом принимаемых поляризаций 33 радиометрических канала.

Для получения профилей влажности в тропосфере в радиометре МИРС используются традиционные измерения в полосе 183 ГГц с новыми дифференциальными измерениями в полосе 22,235 ГГц, которые обещают улучшить качество восстановления профиля влажности в нижних атмосферных слоях, которые несут основной запас водяного пара и отвечают за развитие опасных явлений. Другой особенностью эксперимента является использование поляриметрических измерений для получения скорости и направления приповерхностного ветра. Измерение трёх параметров Стокса собственного электромагнитного излучения морской поверхности (на частотах 10,65, 18,7 и 36,5 ГГц), позволяет определять параметры вектора скорости ветра с точность ±1 м/с и ±10°, по модулю и направлению соответственно.



Внешний вид микроволнового радиометра-спектрометра (МИРС)

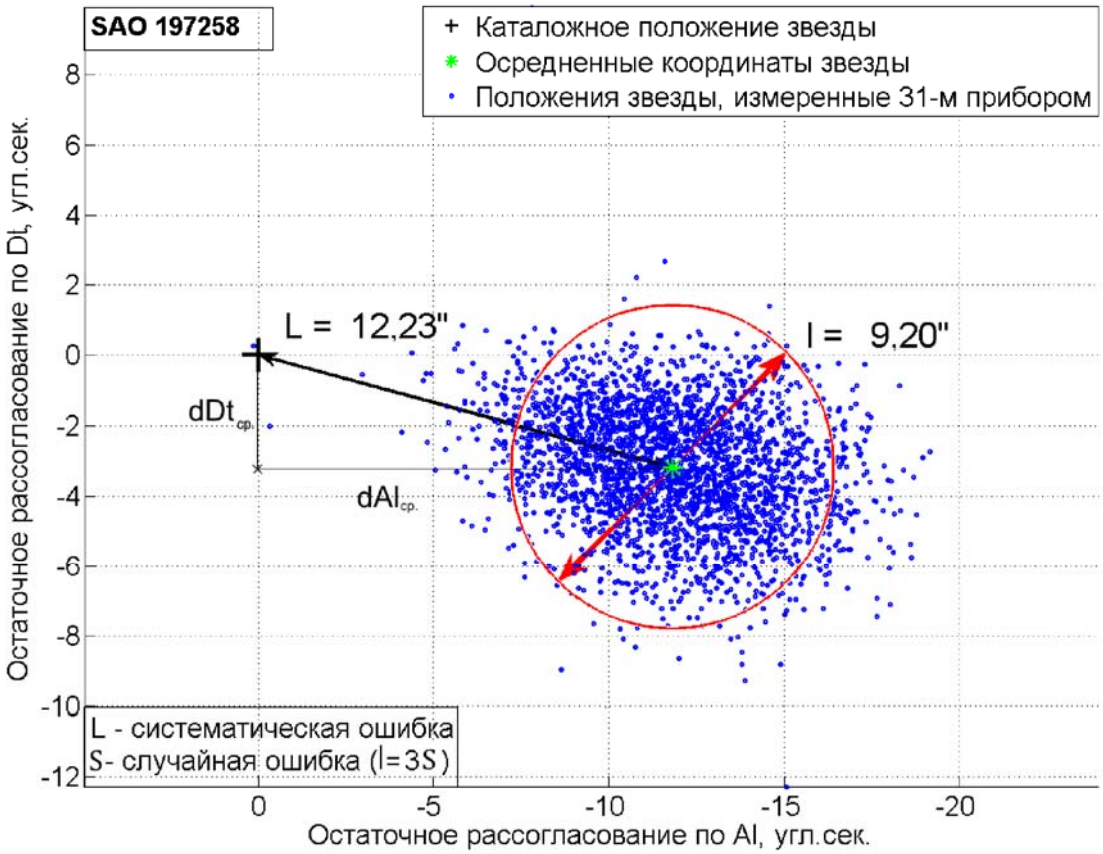
РАЗДЕЛ 8 ВАЖНЕЙШИЕ ЗАКОНЧЕННЫЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ И ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИЕ РАБОТЫ, ВЫПОЛНЕННЫЕ В 2018 г. И ГОТОВЫЕ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

Методы формирования бортовых звездных каталогов датчиков ориентации КА

На основе исследования работы звездных датчиков ориентации на борту отечественных КА ДЗЗ выявлены систематические ошибки в измеряемых приборами координатах значительного числа звезд по отношению к и их каталожным значениям. Установлены причины возникающих несоответствий, разработаны и экспериментально проверены методы формирования бортовых звездных каталогов, исключающие в будущем возникновение подобных ошибок в измерениях.

Разработанные методы формирования бортовых звездных каталогов позволяют вычислить поправки в координаты звезд с учетом фоновой обстановки в ближайших окрестностях каждой из них и наблюдательных свойств приборов. Их применение позволит повысить точность геопривязки данных ДЗЗ.

Необходимость внесения поправок в координаты звезд иллюстрирует рисунок:



Черным крестом на рисунке показаны координаты каталожной звезды SAO 197258. Множественными синими точками показаны измеренные прибором БОКЗ-М60 координаты этой звезды. Центр проекции облака измерений отстоит от каталожного значения на величину L=12,23″. Звезда наблюдалась прибором с борта КА «Ресурс-П» №3 на протяжении нескольких суток на разных витках, что позволяет классифицировать ошибку измерения, как систематическую.

РАЗДЕЛ 9 ГРАНТЫ ПО НАПРАВЛЕНИЮ МОНИТОРИНГ

Грант РФФИ 18-29-24121 Разработка методов и основ дистанционного компьютеризированного мониторинга изменений окружающей среды в местах расположения источников техногенных отходов и отвалов, 2018-2020, Руководитель Лупян Е.А.

Грант РФФИ 18-55-45023 Разработка методов спутникового мониторинга сезонного развития посевов сахарного тростника в Южной Индии в целях контроля их водообеспечения и азотного питания, 2018-2019, Руководитель Барталев С.А.

Грант РФФИ 18-416-910011 Исследование возможностей регионально-адаптивного спутникового мониторинга состояния сельскохозяйственных культур на основе комплексирования автоматических и интерактивных методов обработки данных дистанционного зондирования различного пространственного разрешения, 2018, Руководитель Дунаева Е.А.

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, 2016-2018, Руководитель Саворский В.П.

Грант РФФИ 17-05-41152 РГО_а Создание геоинформационные технологий для мониторинга природно-хозяйственных систем Приморского края на основе комплексного использования современных спутниковых систем дистанционного зондирования, 2017-1019, Руководитель Алексанин А.И.

Грант РФФИ 18-05-20109 Проект организации Шестнадцатой Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2018, Руководитель Лупян Е.А.

Грант РФФИ 18-35-10038 Проект организации Четырнадцатой Всероссийской школы-конференции молодых ученых по фундаментальным проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса, 2018, Руководитель Барталев С.А.

РФФИ 17-05-00715-а Гидродинамические процессы, связанные с распространением речных и лагунных вод в море, и методы их дистанционной диагностики, 2017-2019, Руководитель Лаврова О.Ю.

РФФИ 18-05-00427-а Теоретическое и экспериментальное исследование зависимости собственного микроволнового излучения снежного покрова от его толщины и влагозапаса для решения задач спутникового мониторинга северных равнинных территорий России, 2018-2020, Руководитель Боярский Д.А.

РФФИ 16-05-00164-а Исследование ледового щита Антарктиды с помощью спутниковой микроволновой радиометрии, 2016-2018, Руководитель Шарков Е.А.

РФФИ 18-02-01009 Исследование перспективных радиотепловых методов измерения профилей водяного пара и других параметров атмосферы с борта космического аппарата, 2018-2020, Руководитель Шарков Е.А.

Грант РФФИ № 16-05-00551-а Диагностика и прогноз зарождения тропических циклонов с применением облачно-разрешающего численного моделирования, 2016-2018, Руководитель: Левина Г.В.

Российский научный фонд 16-17-00042 Оценка опасности эксплозивных извержений вулканов на основе комплексного анализа данных дистанционного зондирования и наземных инструментальных наблюдений, 2016-2018, Руководитель Гордеев Е.И.

Российский научный фонд14-17-00555Исследование влияния динамических и циркуляционных процессов на распространение антропогенных и биогенных загрязнений морской поверхности на основе комплексного использования спутниковой информации(продолжение), 2017-2018, Руководитель Лаврова О.Ю.

Российский научный фонд: грант № 18-12-00441 Исследование физических механизмов взаимодействия атмосферы и ионосферы, 2018-2020, Руководитель: Пулинец С.А.

Программа президиума РАН № 51 «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования» проект Оценка изменений наземных экосистем России на основе долговременных спутниковых наблюдений и моделирования. 2018-2020, Руководитель Барталев С.А.

Программа фундаментальных исследований президиума РАН (комплексная программа регионального отделения РАН) за 2018 год № 1.2.50 Развитие методов и средств оперативной океанологии для исследований изменчивости полей Черного моря, 2018, Лаврова О.Ю.

Программа фундаментальных исследований президиума РАН № 28 «Космос: исследования фундаментальных процессов и их взаимосвязей», Подпрограмма I Солнечная и другие планетные системы, Проект I.13: Исследование высокоэнергичных явлений, связанных с грозовой активностью, Тема: Электричество пограничного слоя атмосферы. Развитие современных климатических моделей высокого разрешения с учетом эффектов атмосферного электричества. 2018. Руководитель темы: Артеха С.Н.

Программа Erasmus+ проект 598838-EPP-1-EL-EPPKA2-CBHE-JP: GIS and remote sensing for sustainable forestry and ecology/SUFOGIS (ГИС и дистанционное зондирование для устойчивого лесного хозяйства и экологии), 2018-2020, Руководитель Барталев С.А.

Проект, финансируемый Британским Советом и Министерством образования и науки РФ (Соглашение о предоставлении субсидии № 14.616.21.0099 от 27 февраля 2018 г., уникальный идентификатор соглашения RFMEFI61618X0099) Multiplatform remote sensing of the impact of climate change on Northern forests of Russia (Мультиплатформенный дистанционный мониторинг воздействия изменения климата на северные леса России) Руководитель Барталев С.А.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение отметим, что по результатам работ по направлению темы ""Мониторинг" сотрудниками ИКИ РАН опубликовано – 236 работ, из них опубликовано:

- в зарубежных изданиях – 32
- главы в книгах – 2
- книг – 3

- статьи в отечественных научных рецензируемых журналах – 66
- статьи в сборниках материалов конференций - 14
- доклады, тезисы, циркуляры – 114
- патенты – 2
- диссертации – 3

Отметим результаты, полученные в рамках выполненных работ, в том числе тот факт, что возможности центра коллективного пользования "ИКИ-Мониторинг" (http://ckp.geosmis.ru/) используются в настоящее время для выполнения нескольких десятков научных проектов, выполняемых в более чем 70 научных и образовательных организациях.

Отметим также, 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), предназначенной для сбора информации о пожарах по всей территории России, 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/), ориентированной 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/)
- Единой федеральной информационной системы Земель сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН) (http://efis.mcx.ru/), работающей в интересах Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.
- Объединенной системы работы с данными центров приема НИЦ "Планета" Росгидромета, которая обеспечивает возможность работы со спутниковой информацией и результатами ее обработки для решения различных задач гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды. (http://moscow.planeta.geosmis.ru/

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Опубликовано – 236 работ, из них:

- в зарубежных изданиях – 32
- главы в книгах – 2
- книг – 3
- статьи в отечественных научных рецензируемых журналах – 66
- статьи в сборниках материалов конференций - 14
- доклады, тезисы, циркуляры – 114
- патенты – 2
- диссертации – 3
- публикаций по грантам РНФ – 27
- в соавторстве с зарубежными авторами – 10
- статьи в WOS и Scopus – 65
- статьи в WOS и Scopus (Q1, Q2) – 7 (из них в печати – 2)
- статьи в WOS и Scopus (Q3, Q4) - 50 (из них в печати - 10)
- статьи ниже Q4 с DOI - 20
- статьи ниже Q4 без DOI - 9 (из них в печати – 5)

Публикации в зарубежных изданиях

1. *Waldner F., Schucknecht A., Lesiv M., Gallego J., See L., A. Pérez-Hoyos, d'Andrimont R., de Maet T., Laso Bayas J. C., Fritz S., Leo O., Kerdiles H., Díez M., Van Tricht K., Gilliams S., Shelestov A., Lavreniuk M., Simões M., Ferraz R., Bellón B., Bégué A., Hazeu G., Stonacek V., Kolomaznik J., Misurec J., Verón S. R., de Abelleyra D., Plotnikov D., Mingyong L., Singha M., Patil P., Zhang M., Defourny P.* Conflation of expert and crowd reference data to validate global binary thematic maps // Remote Sensing of Environment Vol.221. p. 235–246. DOI: 10.1016/j.rse.2018.10.039. **(Web of science-Q1, Scopus)** – в печати.
2. *De Witt, A., Roerink G., Virchenko O.V., Bartalev S.A., Savin I. Yu., Plotnikov D.E., Defourny, P., d'Andrimont R.* A dataset of spectral and biophysical measurements over Russian wheat fields // Open Data Journal for Agricultural Research. 2018. Vol. 4. P. 22-27. DOI: doi.org/10.18174/odjar.v4i0.15925.
3. *Girina O.A., Loupian E.A., Corokin A.A., Melnikov D.V., Manevich A.G., Manevich T.M.* Satellite and Ground-Based Observations of Explosive Eruptions on Zhupanovsky Volcano, Kamchatka, Russia in 2013 and in 2014–2016 // Journal of Volcanology and Seismology. 2018. Vol. 12. No. 1. P. 1-15. DOI: 10.1134/S0742046318010049. **(Web of science –Q3, Scopus), (РНФ)**.
4. *Shabanov N.V., Gastellu-Etchegorry J.P.* The stochastic Beer–Lambert–Bouguer law for discontinuous vegetation canopies // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. 2018. Vol. 214. P. 18-32. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2018.04.021. **(Web of science –Q1, Scopus)**.
5. *Rutkevich P.B., Golitsyn G.S., Rutkevich B.P., Shelekhov A.P.* Development of a Subcloud Layer over the Sea during a Cold Air Invasion // Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics. 2018. Vol. 54. No. 4. P. 327-335. DOI: 10.1134/S000143381804028X . **(Web of science- Q3, Scopus)**.
6. *Rutkevich P.B., Golitsyn G.S., Rutkevich B.P.* Cloud Formation over the Ocean upon Cold Air Intrusion // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2018. Vol. 54. No. 5. C. 439–445. DOI: 10.1134/S0001433818050110 **(Web of science-Q3, Scopus)**.
7. *Savorsky V.P., Bartalev S.A., Kashnitskiy A.V., Mazurov A.A., Panova O. Yu., Stytsenko F.V.* Geoinformation Tools Providing Estimations of Vegetation Areal Damages Caused by Wild Fire Disasters // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial

Information Sciences - ISPRS Archives, 2018. XLII-3/W4. P. 437-444. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-437-2018. **(Web of science, Scopus)**.

8. *Lavrova O.Y., Krayushkin E.V., Nazirova K.R., Strochkov A.Y.* Vortex structures in the Southeastern Baltic Sea: Satellite observations and concurrent measurements // Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions. 2018. 1078404. DOI: 10.1117/12.2325463. **(Web of Sciences, Scopus) (РНФ)**
9. *Lavrova O., Nazirova K., Soloviev D.* Internal waves on river plumes // Proc. 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). DOI: 10.1109/IGARSS.2018.8517318. DOI: 10.1109/IGARSS.2018.8517318 **(Web of Sciences, Scopus)**
10. *Loupian E., Lavrova O., Kashnizky A., Uvarov I.* "See The Sea" — new opportunities for distributed collaboration aimed at solution of oceanographic problems using remote sensing // Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata. 2018. V. 59. Supl. 1. P. 91–93. (IF 0.66, **Scopus, Q3) (РНФ)**
11. *Mityagina M., Lavrova O.* Oil slicks from natural hydrocarbon seeps in the Southeastern Black Sea, their drift and fate as observed via remote sensing // Proc. 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). DOI: 10.1109/IGARSS.2018.8517607 **(Web of Sciences, Scopus) (РНФ)**
12. *Mityagina M.I., Lavrova O.Yu.* Satellite remote sensing of submesoscale fronts in inner seas // Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions. 2018. 107840Y (10 October 2018). DOI: 10.1117/12.2323974. **(Web of Sciences, Scopus) (РНФ)**
13. *Tikhonov V., Khvostov I., Romanov A., Sharkov E.* Theoretical study of ice cover phenology at large freshwater lakes based on SMOS MIRAS data // The Cryosphere. 2018. V. 12. No. 8. P. 2727–2740. DOI:https://doi.org/10.5194/tc-12-2727-2018. **(Web of Sciences IF 4,524 Q1, Scopus)**
14. *Tikhonov V.V., Boyarskii D.A., Polyakova O.N.* Investigation of microwave optical constants of bulk iron oxides // Advances in Space Research. 2018. V. 62. No. 9. P. 2692–2700. DOI: https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.07.014. **(Web of Sciences IF 1,529 Q2, Scopus)**
15. *Tikhonov V.V., Khvostov I.V., Romanov A.N., Sharkov E.A.* Analysis of changes in the ice cover of freshwater lakes by SMOS data // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2018. V. 53. No. 9. In press. **(Web of Sciences IF 0,457 Q3, Scopus)**
16. *Sterlyadkin V.V.* Radiometric microwave field measurements of the complex dielectric constant of the water surface // Adv. in Space Research. 2018. V. 62. P. 3162–3169. DOI: 10.1016/j.asr.2018.08.040.
17. *Arumov G.P., Bukharin A.V.* Use of non-normalized moments for determining the statistical parameters of nonspherical particles from their images // Measurement Techniques. 2018. V. 60. No. 11. P. 1102–1108. DOI 10.1007/s11018-018-1325-5. **(Scopus Q3, Web of Sciences IF 0.390, SJR Scopus 0.163)**
18. *Sazonov D.S.* A Regression Model of Microwave Emission of a Water Surface at 37.5 GHz // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2018. V. 54. No. 9. P. 1235–1242. In press. **(Web of Sciences, Scopus) Q3**
19. *Sazonov D.S., Kuzmin A.V., Sadovsky I.N.* The Azimuthal Dependence of the Microwave Emissions of a Water Surface Based on Remote Measurements at the Black Sea // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2018. V. 54. No. 9. P. 1243–1251. In press. **(Web of Sciences-Q3, Scopus) Q3**
20. *Kozlovsky A., Shalimov S., Kero J., Raita T., Lester M.* Multi-instrumental observations of nonunderdence meteor trails // J. Geophys. Res. 2018. Vol.123. No.7. P. 5974-5989. **(Web of science, Scopus) Q1** DOI: 10.1029/2018JA025405
21. *Artekha S.N., Belyan A.V.* New Physical Mechanism for Lightning // International Journal of Theoretical Physics. 2018. Vol. 57. No 2. P. 388-405. **(Web of science, Scopus) Q3** DOI: 10.1007/s10773-017-3571-8

22. *Arumov G.P., Bukharin A.V.* Use of non-normalized moments for determining the statistical parameters of nonspherical particles from their images // Measurement Techniques. Vol. 60. No. 11. 2018. P 1102-1108. DOI: 10.1007/s11018-018-1325-5. **Q3**(Scopus). IF (**WoS**) - 0,390. SJR (**Scopus**) - 0.163.
23. *Kudashev E.B., Yablonik L.R., Liu J.-H.* Acoustic Transducer of Turbulent Pressure Fluctuations in a Temperature-Stratified Medium // Acoustical Physics 2018. Vol. 64. No. 1. P. 94-99. **(Web of science, Scopus) Q2**
24. *Onishchenko O.G., Pokhotelov O.A., Astafieva N.A* Novel model of quasi-stationary vortices in the Earth's atmosphere // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics 2018. Vol.54, No 8. P.130–134. **(Web of science, Scopus) Q3** DOI: 10.21455/GPB2018.2-4
25. *Onishchenko O.G., Pokhotelov O.A., Astafieva N.* Nonlinear gravitational waves and atmospheric instability // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics 2018. Vol. 54. No 10. P. 1381–1387. **(Web of science, Scopus) Q3**
26. *Levina G.V.* On the path from the turbulent vortex dynamo theory to diagnosis of tropical cyclogenesis // Open Journal of Fluid Dynamics 2018. Vol. 8. P. 86-114. https://doi.org/10.4236/ojfd.2018.81008
27. *Martin I.M., Spjeldvik W.N., Gusev A., Gomes M.P., Jayanthi U.B., Alves M.* Ambient neutron and gamma monitoring in Brazilian tropics // Global journal of engineering science and researches 2018. Vol.5, No. 9. P. 230-237. DOI: 10.5281/zenoda.1432574
28. *Martin I., Gusev A., Silva F.* Dynamics of radon gas near ground level in São Jose dos Campos region during April-May 2018 // Global journal of engineering science and researches 2018. Vol.5, No. 6. P.117-124.
29. *Martin I.M., Gusev A.* Radon gas, low energy gamma rays and neutrons measures during 2018 period in south Atlantic anomaly region // Global journal of engineering science and researches 2018. Vol.5. No 10. P.127-133. DOI: 10.5281/zenodo.1469510
30. *Onishchenko O., Fedun V., Horton W., Pokhotelov O., Verth G.* Dust devils: structural features, dynamics and climate impact // Climate J. accepted for publication, 2018 (**Web of Science**, **Scopus**)
31. *Arumov G. P. and Bukharin A. V.* Three-Dimensional Screens for Measuring Non-Normalizen Moments // Measurement Techniques, Vol. 61, No. 9, December, 2018, pp 908-913. DOI: 10.1007/s11018-018-1523-1 . **Q3**(**Scopus**). IF (**WoS**) - 0,390.
32. *Jianhua Liu, ShuchengZhai, Fangwen Hong, Kai Yan, Kudashev Efim.* Effect of Unsteadiness Control of Laminar Junction Flow on Pressure Fluctuations. In Applied Mathematics and Mechanics (Engl. Edition). **Springer**,**Q2** 2018. –в печати

Главы в книгах

33. *Kostianoy A.G., Ginzburg A.I., Kopelevich O.V., Kudryavtsev V.N., Lavrova O.Yu., Lebedev S.A., Mitnik L.M., Mityagina M.I., Smirnov V.G., Stanichny S.V., Troitskaya Yu.I.* Ocean Remote Sensing in Russia // Comprehensive Remote Sensing / ed. S. Liang. Oxford: Elsevier, 2018. V. 8. P. 284–325. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.10412-9.
34. *Kostianoy A.G., Ginzburg A.I., Lavrova O.Yu., Mityagina M.I.* Satellite remote sensing of submesoscale eddies in the Russian Seas // The Ocean in motion / eds. M.G. Velarde, R. Tarakanov, A. Marchenko. Springer Oceanography. Springer, Cham, Switzerland, 2018. P. 397–413. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71934-4_24. Print ISBN 978-3-319-71933-7.

Книги

35. *Романов А. А., Романов А. А.* Норвежское море – 1997. Основные результаты комплексного научно-производственного эксперимента. М.: ИКИ РАН, 2018. 311 с. ISBN 978-5-00015-010-8. Тираж 50.
36. *Гирина О.А., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Мельников Д.В., Романова И.М., Кашницкий А.В., Уваров И.А., Мальковский С.И., Королев С.П., Маневич А.Г., Крамарева Л.С.* Комплексный мониторинг эксплозивных извержений вулканов Камчатки // Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2018. 192 с. ISBN 978–5-902424–29–1. Тираж 400 экз. **РНФ**
37. *Голубев А.Ю., Кудашев Е.Б., Яблоник Л.Р.* Турбулентные пульсации давления в акустике и аэродинамике. – М.: Физматлит, 2019. - в печати.

Публикации в отечественных научных рецензируемых изданиях

38. *Василец П.М., Терентьев Д.А., Коробов С.А., Пырков В.Н., Солодилов А.В., Дегай А. Ю.* Возможности оценки достоверности пространственной информации по вылову донных рыб в отраслевой системе мониторинга Росрыболовства на основе комплексного анализа производственно-промысловой отчетности и данных спутникового позиционирования промысловых судов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. **(Scopus)**. **Q3** – в печати.
39. *Ерошенко Ф.В., Барталев С.А., Лапенко Н.Г., Самофал Е.В., Сторчак И.Г.* Возможности дистанционной оценки состояния и степени деградации природных кормовых угодий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. **(Scopus)**. **Q3** – в печати.
40. *Гирина О.А., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Маневич Т.М.* Спутниковые и наземные наблюдения эксплозивных извержений вулкана Жупановский (Камчатка, Россия) в 2013 и 2014-2016 гг // Вулканология и сейсмология. 2018. № 1. С. 3-17. DOI: 10.7868/S0203030618010017. **(РНФ)**
41. *Жарко В.О., Барталев С.А., Егоров В.А.* Исследование возможностей оценки запасов древесины в лесах Приморского края по данным спутниковой системы Proba-V // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 1. С. 157-168. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-1-157-168. **(Scopus)**. **Q3**
42. *Плотников Д.Е., Колбудаев П.А., Барталев С.А., Лупян Е.А.* Автоматическое распознавание используемых пахотных земель на основе сезонных временных серий восстановленных изображений Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 2. С. 112-127. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-112-127. **(Scopus)**. **Q3**
43. *Лупян Е.А., Барталев С.А., Крашенинникова Ю.С., Плотников Д.Е., Толпин В.А., Уваров И.А.* Анализ развития озимых культур в южных регионах европейской части России весной 2018 года на основе данных дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 2. С. 272-276. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-272-276. **(Scopus)**. **Q3**
44. *Лупян Е.А., Бурцев М.А., Крашенинникова Ю.С.* Зона раннего схода снежного покрова в Дмитровском районе Московской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 2. С. 277-281. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-277-281. **(Scopus)**. **Q3**
45. *Егоров В.А., Барталев С.А., Колбудаев П.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А.* Карта растительного покрова России, полученная по данным спутниковой системы Proba-V // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 2. С. 282-286. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-282-286. **(Scopus)**. **Q3**

46. *Михайлов Ю.М., Попович В.В., Ведешин Л.А.* Создание системы мониторинга окружающей обстановки в Арктике // Редкие земли. 2018. № 1. С. 148-155.
47. *Лупян Е.А., Бурцев М.А., Прошин А.А., Кобец Д.А.* Развитие подходов к построению информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 3. С. 53-66. DOI: DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-53-66. **(Scopus)**. **Q3**
48. *Гирина О.А., Лупян Е.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Сорокин А.А., Крамарева Л.С., Уваров И.А., Кашницкий А.В.* Извержение вулкана Безымянный 20 декабря 2017 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 3. С. 88-99. DOI: DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-88-99. **(Scopus), (РНФ)**. **Q3**
49. *Лупян Е.А., Барталев С.А., Крашенинникова Ю.С., Толпин В.А., Бурцев М.А.* Развитие яровых культур на Европейской территории России и в южных регионах Западной Сибири в 2018 году // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 3. С. 275-281. DOI: DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-275-281. **(Scopus)**. **Q3**
50. *Плотников Д.Е., Колбудаев П.А., Барталев С.А.* Выделение сезонно-однородных областей на основе анализа временных серий спутниковых изображений // Компьютерная оптика. 2018. Т. 42. № 3. С. 447-456. DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-3-447-456 . **(Scopus)**. **Q2**
51. *Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Барталев С.А.* Метод автоматического распознавания сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных и имитационной модели развития растений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 131-141. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-131-141. **(Scopus)**. **Q3**
52. *Верхотуров А.Л., Соколова Г.В., Барталев С.А., Крамарева Л.С.* Исследование лесогидрологических процессов на водосборах рек бассейна Амура по данным спутниковых и гидрометеорологических наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 142-154. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-142-154. **(Scopus)**. **Q3**
53. *Шабанов Н.В., Барталев С.А., Ерошенко Ф.В., Плотников Д.Е.* Развитие возможностей дистанционной оценки индекса листовой поверхности по данным MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 166-178. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-166-178. **(Scopus)**. **Q3**
54. *Руткевич П.Б., Голицын Г.С., Руткевич Б.П., Шелехов А.П.* Развитие подоблачного слоя над морем при вторжении холодного воздуха // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2018. Т. 54. № 4. С. 386-395.
55. *Руткевич П.Б., Голицын Г.С., Руткевич Б.П.* Формирование облачности над океаном при вторжении холодного воздуха // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2018. Т. 54. № 5. С. 516–524.
56. *Бочка Л.А., Кашницкий А.В.* Макет потоковой обработки данных Sentinel-2 // Вестник Тверского Государственного университета. Серия: география и геоэкология. 2018. № 3. С. 40-56. DOI: 10.26456/2226-7719-2018-3-40-56.
57. *Купенова Э.М., Кашницкий А.В.* Метод случайных лесов в задачах классификации спутниковых снимков // Вестник Тверского Государственного университета. Серия: география и геоэкология. 2018. № 3. С. 99-107. DOI: 10.26456/2226-7719-2018-3-99-107.
58. *Мухамеджанов И.Д., Лупян Е.А., Уваров И.А.* Особенности спутникового мониторинга гидросооружений Вахшского каскада на примере Нурекского водохранилища // Вестник Тверского Государственного университета. Серия: география и геоэкология. 2018. № 3. С. 137-151. DOI: 10.26456/2226-7719-2018-3-137-151.
59. *Мухамеджанов И.Д., Лупян Е.А., Уваров И.А.* Спутниковый мониторинг сезонной динамики водохрашилищ Вахшского каскада // Известия географического общества Узбекистана. Специальный том. 2018. С. 44-54.

60. *Дегай А.Ю., Агеев А.В., Шинкаренко В.И., Василец П.М., Солодилов А.В., Пырков В.Н.* Использование особенностей построения справочной информации спутниковой системы мониторинга рыболовства для поддержки выбора решений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 5. С. 63-72. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-5-63-72. **(Scopus)**. **Q3**
61. *Сочилова Е.Н., Сурков Н.В., Ершов Д.В., Егоров В.А., Барталев С.С., Барталев С.А.* Картографирование классов бонитета лесов Приморского края на основе спутниковых изображений и данных о характеристиках рельефа // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 5. С. 96-109. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-5-96-109. **(Scopus)**. **Q3**
62. *Гаврилюк Е.А., Плотникова А.С., Плотников Д.Е.* Картографирование наземных экосистем Печоро-Илычского заповедника и его окрестностей на основе восстановленных мультивременных спутниковых данных Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 5. С. 141-153. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-5-141-153. **(Scopus)**. **Q3**
63. *Лупян Е.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Бурцев М.А., Сенько К.С., Крашенинникова Ю.С.* Особенности пожароопасного сезона 2018 года на территории России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 5. С. 263-267. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-5-263-267. **(Scopus)**. **Q3**
64. *Краюшкин Е.В., Лаврова О.Ю., Назирова К.Р., Алферьева Я.О., Соловьев Д.М.* Формирование и распространение вихревого диполя за мысом Таран в Юго-Восточной Балтике // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 214–221. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-214-221. **(ИФ 2,074, Scopus, Q3) (РНФ)**
65. *Лаврова О.Ю.* Проявление внутренних волн на спутниковых изображениях северо-восточной части Черного моря в июле 2017 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 1. С. 309–315. DOI:10.21046/2070-7401-2018-15-1-309-315. **(ИФ 2,074, Scopus, Q3) (РНФ)**
66. *Лаврова О.Ю., Краюшкин Е.В., Назирова К.Р., Строчков А.Я.* Возможность получения динамических и пространственных характеристик процессов и явлений в прибрежной зоне на основе комплексного использования квазисинхронных спутниковых данных // Вестник ТвГУ. Серия «География и Геоэкология». 2018. № 3. С.108-124. DOI: https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-108-124.
67. *Лаврова О.Ю., Строчков А.Я.* Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» // Вестник ТвГУ. Серия «География и Геоэкология». 2018. № 3. С. 8-14. DOI: https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-8-14.
68. *Митягина М.И.* Распространение пленок естественных нефтепроявлений на морской поверхности Юго-восточной части Чёрного моря по данным многолетних спутниковых наблюдений // Вестник ТвГУ. Серия «География и Геоэкология». 2018. № 3. С. 125–136. DOI: https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-125-136.
69. *Щеголихина М.С., Лаврова О.Ю.* Мониторинг выносов речных и лагунных вод в Азовское и Балтийское моря на основе спутниковых данных видимого диапазона // Вестник ТвГУ. Серия «География и Геоэкология». 2018. № 3. С. 180–191. DOI: https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-180-191.
70. *Krayushkin E., Lavrova O., Strochkov A.* Application of GPS/GSM Lagrangian mini-drifters for coastal ocean dynamics analysis // Russian Journal of Earth Sciences (В печати) **(Web of Sciences, Scopus) (РНФ)**
71. *Алексеева Т.А., Тихонов В.В., Фролов С.В., Раев М.Д., Репина И.А., Соколова Ю.В., Афанасьева Е.В., Шарков Е.А., Сероветников С.С.* Сравнение сплоченности ледяного покрова по данным спутниковой микроволновой радиометрии с данными визуальных судовых наблюдений // Исследование Земли из космоса. 2018. № 6. В печати.

72. *Репина И.А., Тихонов В.В.* Снежницы на поверхности льда в летний период и их связь с климатическими изменениями в Арктике // Российская Арктика. 2018. № 2. С. 15–30.
73. *Тихонов В.В., Раев М.Д., Хвостов И.В., Боярский Д.А., Романов А.Н., Шарков Е.А., Комарова Н.Ю.* Анализ сезонной зависимости яркостной температуры ледового щита Антарктиды по микроволновым спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. 2019. № 1. Принята в печать.
74. *Пашинов Е.В.* Восстановление интегрального паросодержания атмосферы по данным прибора МТВЗА-ГЯ («Метеор-М» № 2) над поверхностью океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 225–235. **(SCOPUS) Q3**
75. *Сазонов Д.С.* Регрессионная модель микроволнового излучения водной поверхности на частоте 37,5 ГГц // Исслед. Земли из космоса. 2018. № 2. С. 48–57.
76. *Сазонов Д.С., Кузьмин А.В., Садовский И.Н.* Азимутальная зависимость микроволнового излучения водной поверхности на основе дистанционных измерений на Черном море // Исслед. Земли из космоса. 2018. № 3. С. 29–38.
77. *Стерлядкин В.В., Сазонов Д.С., Кузьмин А.В., Шарков Е.А.* Наземные радиометрические измерения эффективной излучательной способности морской поверхности без абсолютной калибровки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 2. С. 29–41. **(SCOPUS) Q3**
78. *Шарков Е.А., Кузьмин А.В., Веденькин Н.Н., Jeong S., Ермаков Д.М., Квитка В.Е., Козлова Т.О., Комарова Н.Ю., Минаев П.Ю., Oh S., Park Il.H., Пашинов Е.В., Позаненко А.С., Прасолов В.О., Садовский И.Н., Сазонов Д.С., Селунский А.Б., Стерлядкин В.В., Хапин Ю.Б., Hong G., Черненко А.М.* Космический эксперимент «Конвергенция»: научные задачи, бортовая аппаратура, методики обратных задач // Исслед. Земли из космоса. 2018. № 4. Принята в печать.
79. *Арумов Г.П., Бухарин А.В.* Трехмерные экраны для измерения ненормализованных моментов // Журнал «Измерительная техника». 2018. № 9. С. 44–48.
80. *Арумов Г.П., Бухарин А.В.* Ненормализованные моменты в задаче идентификации рассеивающих частиц по сечениям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Направлена в печать). **(SCOPUS) Q3**
81. *Кондратьева Т.В., Жуков Б.С., Пермитина Л.И., Полянский И.В.* Сопоставление радиометрических данных КМСС-М КА «Метеор-М» №2 с данными MODIS на КА Terra и OLI Landsat-8 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2018. Т.15. №2. С.19-28. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-19-28. (Импакт фактор 2,074, **Scopus**) **Q3**
82. *Аванесов Г.А., Бессонов Р.В., Куркина А.Н., Сметанин П.С.* Технология наземной обработки данных о координатах звезд в целях повышения точности геопривязки снимков Земли из космоса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли их космоса, 2018. Т.15. №6. С.31-38. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-6-31-38 (Импакт фактор 2,074, **Scopus**) **Q3**
83. *Аванесов Г.А., Бессонов Р.В., Сметанин П.С., Филиппова О.В., Эльяшев Я.Д.* Особенности измерения координат звезд оптико-электронными приборами с различными угловыми разрешениями // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли их космоса, 2018. Т.15. №6. С. 39-47. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-6-39-47 (Импакт фактор 2,074, **Scopus**) **Q3**
84. *Аванесов Г.А., Снеткова Н.И., Филиппова О.В., Эльяшев Я.Д.* Исследование звезд участка небесной сферы двумя датчиками ориентации БОКЗ-М60 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли их космоса, 2018. Т.15. №6. С. 48-59. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-6-48-59 (Импакт фактор 2,074, **Scopus**) **Q3**
85. *Аванесов Г.А., Куркина А.Н., Филиппова О.В., Эльяшев Я.Д.* Эксперимент по коррекции фрагмента бортового каталога прибора БОКЗ-М60 // Современные проблемы

дистанционного зондирования Земли их космоса, 2018. Т.15. №6. С. 60-68. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-6-60-68 (Импакт фактор 2,074, **Scopus**) **Q3**

86. *Аванесов Г.А., Строилов Н.А., Филиппова О.В., Шамис В.А., Эльяшев Я.Д.* Адаптация звездных каталогов к условиям их применения в звездных датчиках ориентации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли их космоса, 2018. Т.15. №6. С. 69-81. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-6-69-81 (Импакт фактор 2,074, **Scopus**) **Q3**
87. *Бессонов Р.В., Белинская Е.В., Брысин Н.Н., Воронков С.В., Прохорова С.А., Строилов Н.А., Форш А.А.* Стендовое исследование погрешности определения энергетического центра яркости изображения звезд в звездных датчиках // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли их космоса, 2018. Т.15. №6. С-82-89. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-6-82-89 (Импакт фактор 2,074, **Scopus**) **Q3**
88. *Аванесов Г.А., Бессонов Р.В., Брысин Н.Н., Квашнин А.С., Шевелев В.Е.* Пути снижения термоупругих деформаций приборов звездной ориентации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли их космоса, 2018. Т.15. №6. С.90-105. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-6-90-105 (Импакт фактор 2,074, **Scopus**) **Q3**
89. *Прохорова С.А., Сметанин П.С., Форш А.А.* Развитие алгоритмов фильтрации первичных данных в звездном датчике ориентации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли их космоса, 2018. Т.15. №6. С. 106-118. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-6-106-118 (Импакт фактор 2,074, **Scopus**) **Q3**
90. *Белинская Е.В., Кобелева А.А., Сметанин П.С., Эльяшев Я.Д., Черняк М.Е.* Сравнение эффектов структурных повреждений в КМОП и ПЗС матрицах, применяемых в звездных датчиках, на примере CMV4000 и ФППЗ «Лев-4» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли их космоса, 2018. Т.15. №6. С.119-130 DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-6-119-130 (Импакт фактор 2,074, **Scopus**) **Q3**
91. *Базина Е.А., Бессонов Р.В., Брысин Н.Н., Никитин А.В., Прохорова С.А., Сливко Н.А., Строилов Н.А., Юматов Б.А.* Математическая модель стенда определения элементов внутреннего ориентирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли их космоса, 2018. Т.15. №6. С.131-144. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-6-131-144 (Импакт фактор 2,074, **Scopus**) **Q3**
92. *Бессонов Р.В., Белинская Е.В., Куркина А.Н., Строилов Н.А., Юматов Б.А.* Программный комплекс обработки и хранения информации с приборов звездной ориентации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли их космоса, 2018. Т.15. №6. С. 145-153. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-6-145-153 (Импакт фактор 2,074, **Scopus**) **Q3**
93. *Жуков Б.С., Жуков С.Б., Кондратьева Т.В., Никитин А.В.* Автоматизация полетной геометрической калибровки Комплекса многозональной спутниковой съемки КМСС-М на КА «Метеор-М» №2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли их космоса, 2018. Т.15. №6. С. 201-212. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-6-201-212 DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-6-131-144 (Импакт фактор 2,074, **Scopus**) **Q3**
94. *Арумов Г.П., Бухарин А.В.* Трехмерные экраны для измерения ненормализованных моментов // Журнал "Измерительная техника" 2018. № 9. С.44-48. DOI: 10.32446/0368-1025it-2018-9-44-48
95. *Ижовкина Н.И., Артеха С.Н., Ерохин Н.С., Михайловская Л.А.* Аэрозоль и активность вихрей в атмосфере // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса 2018. Т. 15. № 3. С. 226–235. (**Scopus**) **Q3**DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-226-235
96. *Ижовкина Н.И., Артеха С.Н., Ерохин Н.С., Михайловская Л.А.* Аэрозоль, атмосферная вихревая активность и турбулентность // Инженерная физика 2018. № 8. С. 21-31. DOI: 10.25791/infizik.08.2018.127
97. *Ижовкина Н.И., Артеха С.Н., Ерохин Н.С., Михайловская Л.А.* Аэрозоль, плазменные вихри и атмосферные процессы // Геофизические процессы и биосфера 2018. Т. 17. № 4. С. 5–25. DOI 10.21455/GPB2018.4-1

98. *Онищенко О.Г., Похотелов О.А., Астафьева Н.М.* Новая модель квазистационарных вихрей в атмосфере Земли // Геофизические процессы и биосфера. 2018. Т.17. № 2. С. 61–70. DOI 10.21455/GPB2018.2-4
99. *Онищенко О.Г., Похотелов О.А., Астафьева Н.М.* Нелинейные гравитационные волны и неустойчивость атмосферы // Геофизические процессы и биосфера 2018. Т.17, № 3, С. 5-17. DOI: 10.21455/GPB2018.3-1
100. *Арумов Г.П., Бухарин А.В.* Ненормализованные моменты в задаче идентификации рассеивающих частиц по сечениям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. (в печати). (**Scopus**) **Q3**
101. *Шалимов С.Л., Козловский А.Е.* О режимах диффузионного расплывания ионизованных метеорных следов // Физика плазмы. 2019 (в печати). (**Scopus**)
102. Крамарева Л.С., Лупян Е.А., Амельченко Ю. А., Бурцев М.А., Крашенинникова Ю.С., Суханова В.В., Шамилова Ю. А. Наблюдение зоны обрушения сопки в районе реки Бурея 11 декабря 2018 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли их космоса, 2018. Т.15. №7. С. 266-271 . DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-7-266-271 (**Scopus**).
103. Денисов П.В., Крашенинникова Ю.С., Лупян Е.А., Мартьянов А.С., Плотников Д.Е., Середа И.И., Толпин В.А., Трошко К.А. Наблюдение развития озимых культур в России осенью 2018 года на основе данных дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли их космоса, 2018. Т.15. №7. С. 272-280. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-7-272-280 (**Scopus**).

Публикации в сборниках материалов конференций

104. *Ведешин Л.А., Корнейчук А.И., Семенов В.И.* Инженерные решения для территориального планирования с помощью ДЗЗ и IT // Материалы пятой международной научно-технической конференции "Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли". Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ, 2018. С. 178-185.
105. *Ведешин Л.А., Корнейчук А.И., Семенов В.И.* Космический мониторинг геополитического пространства // Материалы пятой международной научно-технической конференции "Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли". Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ, 2018. С. 191-197.
106. *Кобец Д.А., Матвеев А.М., Прошин А.А., Мазуров А.А.* Контроль работоспособности и управление распределенными комплексами автоматической потоковой обработки спутниковых данных // Материалы пятой международной научно-технической конференции "Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли". Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ, 2018. С. 225-234.
107. *Лупян Е.А., Барталев С.А.* Современные возможности и тенденции развития информационных систем дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель и посевов // Материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием «Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве». Санкт-Петербург. 26-28 сентября. – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2018. С. 11-18.
108. *Костяной А.Г., Гинзбург А.И., Лаврова О.Ю., Митягина М.И.* Дистанционное зондирование субмезомасштабных вихрей в морях России // Сборник трудов Международного симпозиума «Мезомасштабные и субмезомасштабные процессы в гидросфере и атмосфере» МСП-2018. Москва, ИО РАН, 30 октября – 2 ноября 2018. С. 184–187. DOI: 10.29006/978-5-9901449-4-1-2018-52. **(РНФ)**

109. *Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Краюшкин Е.В., Назирова К.Р., Строчков А.Я.* Исследование субмезомасштабных процессов в прибрежной зоне: спутниковые наблюдения и синхронные натурные измерения // Сборник трудов Международного симпозиума «Мезомасштабные и субмезомасштабные процессы в гидросфере и атмосфере» МСП-2018. Москва, ИО РАН, 30 октября – 2 ноября 2018. С. 220–222. DOI: 10.29006/978-5-9901449-4-1-2018-61. **(РНФ)**

110. *Krayushkin E.V., Lavrova O.Yu., Nazirova K.R.* Distinctive features of surface circulation in the southeastern part of the Baltic Sea by subsatellite oceanographic experiments held in 2014–2017 // International Baltic Earth Secretariat Publication. 2018. No. 13. P. 121–122. **(РНФ)**

111. *Сазонов Д.С, Стерлядкин В.В., Садовский И.Н.* Восстановление поля приводного ветра по микроволновым радиополяриметрическим измерениям из космоса // 13-я Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» с элементами научной молодежной сессии ФРЭМЭ’2018: труды конференции. Владимир-Суздаль, 3–5 июля 2018. Т. 2. С. 345–350. http://freme.vlsu.ru/index.php?lang=ru

112. *Пашинов Е.В., Стерлядкин В.В., Кузьмин А.В., Шарков Е.А., Садовский И.Н.* Восстановление интегрального паросодержания атмосферы и водозапаса облачности в проекте КЭ «Конвергенция» // 13-я Международная научная конференция «ФРЭМЭ’2018»: труды конференции. Суздаль, 3–5 июля 2018. С. 331–335. http://freme.vlsu.ru/index.php?lang=ru

113. *Пашинов Е.В., Селунский А.Б., Стерлядкин В.В., Кузьмин А.В., Шарков Е.А., Садовский И.Н.* Восстановление профилей температуры и влажности в проекте КЭ «Конвергенция» // 13-я Международная научная конференция «ФРЭМЭ’2018»: труды конференции. Суздаль, 3–5 июля 2018. С. 335–339. http://freme.vlsu.ru/index.php?lang=ru

114. *Стерлядкин В.В., Куликовский К.В., Кузьмин А.В., Шарков Е.А.* Микроволновый радиометрический комплекс для дистанционного зондирования Земли с борта МКС // Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике: сб. докладов конф. ФТИ МТУ, Москва, 2018. С. 127–131.

115. *Стерлядкин В.В., Кузьмин А.В., Шарков Е.А.* Задачи космического эксперимента «Конвергенция» // 5-я Всероссийская научная конференция «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды». Санкт-Петербург, ВКА им. Можайского, 2018.

116. *Ведешин Л.А.* Дистанционное зондирование планет солнечной системы // Вопросы Электромеханики. Труды ВНИИЭМ. Приложение за 2018 год. Материалы шестой международной научно-технической конференции "Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли, 2018. С. 26-32.

117. *Ведешин Л.А., Рихтер А.А.* Космический мониторинг и управление горнорудными и коммунальными отходами // Вопросы Электромеханики. Труды ВНИИЭМ. Приложение за 2018 год. Материалы шестой международной научно-технической конференции "Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли, 2018. С. 128-138.

Тезисы, доклады, циркуляры

118. *Uvarov I.A., Nikiforov O.V., Petrukovich A.A., Podladchikova T.V.* Development of the "Aurora-Arctica" information system with use of the GEOSMIS cartographic web platform // Abstracfs of 41-th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", 2018. P. 18-19.
119. *Никифоров О.В., Петрукович А.А., Уваров И.А.* Геоинформационная система мониторинга и прогнозирования состояния ионосферы в арктической области "Аврора-Арктика // 41-й ежегодный семинар " Физика авроральных явлений", 2018. С. 21.
120. *Бочка Л.А., Кашницкий А.В.* Получение продуктов уровня обработки L2A по данным Sentinel-2 // Тезисы XV Конференции молодых ученых, посвященной дню космонавтики, "Фундаментальные и прикладные космические исследования", 11-13 апреля, 2018. С. 13.
121. *Купенова Э.М., Кашницкий А.В.* Развитие инструмента классификации информации ДЗЗ в информационной системе «ВЕГА-Science» // Тезисы XV Конференции молодых ученых, посвященной дню космонавтики, "Фундаментальные и прикладные космические исследования", 11-13 апреля, 2018. С. 62.
122. *Мухамеджанов И.Д., Уваров И.А.* Возможности дистанционного мониторинга Нурекского водохранилища // Тезисы XV Конференции молодых ученых, посвященной дню космонавтики, "Фундаментальные и прикладные космические исследования", 11-13 апреля, 2018. С. 76.
123. *Сайгин И.А.* Исследование отражательных свойств поврежденных пожарами лесов // Тезисы XV Конференции молодых ученых, посвященной дню космонавтики, "Фундаментальные и прикладные космические исследования", 11-13 апреля, 2018. С. 97.
124. *Елкина Е.С., Плотников Д.Е., Барталев С.А., Лупян Е.А.* Оценка используемости сельскохозяйственных земель на основе комплексной интерпретации спутниковых данных ДЗЗ различного пространственного и временного разрешения // Тезисы XV Конференции молодых ученых, посвященной дню космонавтики, "Фундаментальные и прикладные космические исследования", 11-13 апреля, 2018. С. 33.
125. *Кобец Д.А., Балашов И.В.* Модель данных для анализа временных рядов характеристик наблюдаемых природных пожаров на различных типах территорий на основе BI-технологий // Тезисы XV Конференции молодых ученых, посвященной дню космонавтики, "Фундаментальные и прикладные космические исследования", 11-13 апреля, 2018. С. 52-54.
126. *Самофал Е.В., Марченков В.В., Барталев С.А.* Алгоритмы фильтрации спекл-шума // Тезисы XV Конференции молодых ученых, посвященной дню космонавтики, "Фундаментальные и прикладные космические исследования", 11-13 апреля, 2018. С. 98.
127. *Константинова А.М., Сычугов И.Г., Балашов И.В.* Технология создания открытого интерфейса на основе данных систем дистанционного мониторинга // Тезисы XV Конференции молодых ученых, посвященной дню космонавтики, "Фундаментальные и прикладные космические исследования", 11-13 апреля, 2018. С. 57.
128. *Kashnitskiy A.V., Bourtsev M.A., Girina O.A., Loupian E.A., Zlatopolsky A.A.* Satellite datainteractive analysis tools in the VolSatView volcanoes monitoring system // 10-ое международное совещание по процессам в зонах субдукции Японской, Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг (JKASP-2018) "Вулканизм и сейсмичность в зоне субдукции", 2018. **(РНФ)**
129. *Bourtsev M.A., Girina O.A., Kramareva L.S., Loupian E.A., Corokin A.A., Uvarov I.A.* Organization of heterogeneous remote sensing data management for near real-time volcanic activity monitoring and analysis with the VolSatView information system // 10th Biennual Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes (JKASP-2018) (JKASP-2018) "Volcanism and seismicity in subduction zone". Petropavlovsk-Kamchatskiy. 20-26 august, 2018. **(РНФ)**

130. *Кашницкий А.В., Лупян Е.А., Бурцев М.А., Прошин А.А., Кобец Д.А.* Анализ развития способов создания информационных систем дистанционного мониторинга // Материалы V Международной научной конференции "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли" (РПДЗЗ-2018). 11-14 сентября 2018г. / науч.ред. Е.А. Вагганов. - Красноярск: СФУ, 2018. С. 57-59.
131. *Константинова А.М., Балашов И.В.* Инструменты анализа быстроразвивающихся природных процессов на основе спутниковых данных дистанционного зондирования Земли // Материалы V Международной научной конференции "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли" (РПДЗЗ-2018). 11-14 сентября 2018г. / науч.ред. Е.А. Вагганов. - Красноярск: СФУ, 2018. С. 56-57.
132. *Гаврилюк Е.А., Плотникова А.С., Плотников Д.Е.* Картографирование наземных экосистем Печоро-Илычского заповедника и его окрестностей на основе восстановленных мультивременных спутниковых данных Landsat // Материалы V Международной научной конференции "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли" (РПДЗЗ-2018). 11-14 сентября 2018г. / науч.ред. Е.А. Вагганов. - Красноярск: СФУ, 2018. С. 87-91.
133. *Буланов К.А., Денисов П.В., Косогор С.Н., Вандышева Н.М., Бабак В.А., Трошко К.А., Мартьянов А.С., Середа И.И., Лупян Е.А., Толпин В.А., Бурцев М.А.* Модуль работы с данными дистанционного зондирования Земли в Единой федеральной информационной системе о землях сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН) // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 3. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
134. *Гирина О.А., Лупян Е.А., Крамарева Л.С., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Сорокин А.А., Гордеев Е.И., Уваров И.А., Кашницкий А.В., Бурцев М.А., Марченков В.В., Мазуров А.А., Константинова А.М., Романова И.М., Мальковский С.И., Королев С.П.* Информационная система Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил (ИС VolSatView): возможности и опыт работы // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 5. **(РНФ)** DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
135. *Колбудаев П.А., Плотников Д.Е., Барталев С.А.* Метод выявления облачности на монохроматических изображениях МСУ-100М (Метеор-М №2) на основе пространственного анализа и границ объектов земной поверхности // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 41. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
136. *Бриль А.А., Кашницкий А.В., Уваров И.А.* Возможности оценки высот пепловых шлейфов вулканов в информационной системе дистанционного мониторинга активности вулканов Камчатки и Курил «VolSatView» // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 22. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
137. *Бурцев М.А., Лупян Е.А., Кобельков Н.О., Абросимов Н.И.* Оценка возможности использования данных МСУ-ИК-СРМ для детектирования тепловых аномалий // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 23. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
138. *Балашов И.В., Бурцев М.А., Мазуров А.А., Сенько К.С., Пустынский И.С., Чудин А.О., Гуцалов О.В., Ян В.Д.* Оценка точности и опыт использования алгоритмов детектирования термических аномалий по данным спутника Himawari-8 // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из

космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 74. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

139. *Балашов И.В., Бурцев М.А., Прошин А.А., Матвеев А.М., Мазуров А.А., Сенько К.С.* Опыт совместного использования данных MODIS и VIIRS для оценки площадей пройденных лесными пожарами // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 75. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

140. *Беляев М.Ю., Сармин Э.Э., Бурцев М.А., Балашов И.В., Толпин В.А.* Развитие технологий интеграции данных эксперимента "Ураган", выполняемого на МКС, в системах семейства «Вега-Созвездие» и их дальнейшее применение // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 77. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

141. *Бурцев М.А., Балашов И.В., Лупян Е.А., Кашницкий А.В., Прошин А.А.* Современные требования к информационным средам, обеспечивающим создание и поддержку систем дистанционного мониторинга // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 82. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

142. *Закора А.Л., Сайгин И.А., Ворушилов И.И.* Обнаружение изменений состояния объектов во времени по данным ДЗЗ // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 88. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

143. *Златопольский А.А., Кашницкий А.В.* Инструмент анализа рисунка и линеаментов в информационных системах семейства "Созвездие-Вега" // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 93. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

144. *Константинова А.М., Кашницкий А.В., Марченков В.В., Балашов И.В., Бурцев М.А.* Возможности анализа и оценки быстроразвивающихся природных процессов в информационных системах дистанционного мониторинга // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 97. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

145. *Матвеев А.М., Мазуров А.А., Бриль А.А., Кашницкий А.В., Колбудаев П.А., Плотников Д.Е.* Анализ возможности автоматической кросс-калибровки данных российских спутников методом анализа гистограмм // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 101. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

146. *Мухамеджанов И.Д., Лупян Е.А., Уваров И.А.* Анализ межгодовой динамики водохранилищ Вахшского каскада // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 104. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

147. *Нефёдов В.П., Балашов И.В.* Разработка модуля быстрой пространственной аннотации растровых объектов // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 105. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

148. *Прошин А.А., Бурцев М.А., Кобец Д.А., Сычугов И.Г.* Методы и инструменты выявления задержек в процессе автоматизированной потоковой обработки спутниковых данных // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 108. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
149. *Прошин А.А., Антоненко В.А.* Интеграция сервиса доступа к спутниковым данным в облачную платформу C2 // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 107. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
150. *Пырков В.Н., Василец П.М., Дегай А.Ю., Андреев М.В., Черных В.Н., Солодилов А.В.* Новый подход к верификации отчетов о вылове на основе классификации треков спутникового позиционирования в системе мониторинга рыболовства // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 109. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
151. *Уваров И.А., Бурцев М.А., Толпин В.А., Береза О.В., Тарасова Л.Л., Страшная А.И., Василенко Е.В.* Текущие возможности системы Вега-Агрометеоролог // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 120. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
152. *Руткевич П.Б., Голицын Г.С., Руткевич Б.П.* Спиральность тайфуна в модели спиральной турбулентности // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 209. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
153. *Балашов И.В., Бурцев М.А., Сычугов И.Г., Константинова А.М., Лупян Е.А., Прошин А.А., Толпин В.А., Батанов О.В., Назаров В.Н., Коротков Ф.В.* Опыт первого года эксплуатации системы ARES для работы с данными наблюдения Марса и перспективы ее развития // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 343. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
154. *Гирина О.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Сорокин А.А., Крамарева Л.С., Уваров И.А., Кашницкий А.В.* Анализ активности вулкана Безымянный в 2016-2017 гг. с помощью методов дистанционного зондирования // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 363. **(РНФ)** DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
155. *Константинова А.М., Гирина О.А., Мальковский С.И., Кашницкий А.В., Лупян Е.А.* Сравнение информации о пепловых шлейфах вулканов, получаемой на основе численного моделирования и обработки спутниковых данных // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 369. **(РНФ)** DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
156. *Егоров В.А., Барталев С.А., Барталев С.С., Ворушилов И.И.* Оценка точности карт растительного покрова России, полученных по данным Terra-MODIS, с использованием данных высокого пространственного разрешения // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 402. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
157. *Плотников Д.Е., De Abelleyra D., Veron S., Zhang M., Толпин В.А., Елкина Е.С., Самофал Е.В., Барталев С.А., Lavreniuk M., Waldner F., Ziad A.* Сравнение разных источников

обучающей информации для регионального картографирования пашни в различных регионах мира // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 427. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

158. *Хвостиков С.А., Барталев С.А.* Метод построения эталонов сезонной динамики вегетационного индекса NDVI для однолетних сельскохозяйственных культур территории России // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 446. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

159. *Шабанов Н.В., Барталев С.А., Тутубалина О.В.* Предварительные результаты анализа временных рядов 250м MODIS LAI продукта для мониторинга северных лесов России // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 449. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

160. *Бурцев М.А., Лупян Е.А., Крамарева Л.С.* Оценка возможности использования данных спутников «Канопус-В» №№ 3, 4 для оценки изменений в лесном покрове // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 392. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

161. *Толпин В.А., Закора А.Л., Плотников Д.Е., Елкина Е.С., Козочкина А.А.* Инструментарий оценки используемости сельскохозяйственных земель в информационных системах семейства «Созвездие-Вега» // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 443. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

162. *Толпин В.А., Уваров И.А., Марченков В.В., Лупян Е.А., Барталев С.А.* Возможности анализа изменений среднемноголетней временной динамики вегетационных индексов различных сельскохозяйственных культур // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 444. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

163. *Елкина Е.С., Дунаева Е.А., Барталев С.А., Плотников Д.Е.* Оценка возможностей выявления озимых культур с использованием инструментов сервиса Вега // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 455. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

164. *Никифоров О.В., Петрукович А.А., Уваров И.А.* Информационная система «Аврора-Арктика». Задачи и перспективы развития // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 477. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

165. *Хвостиков С.А.* Методы моделирования динамики распространение природных пожаров и подходы по их интеграции с данными спутникового мониторинга // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 501. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

166. *Жарко В.О., Барталев С.А., Сидоренков В.М.* Развитие и анализ точности метода оценки запасов стволовой древесины по данным Sentinel-2, полученным в условиях наличия снежного покрова // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 406. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

167. *Тутубалина О.В., Зимин В.Д., Голубева Е.И., Михайлюкова П.Г., Михеева А.И., Барталев С.А., Шабанов Н.В., Жарко В.О., Медведев А.А., Тельнова Н.О., Кудиков А.В., Rees W.G., Marshall G., Turton R.H.* Мультиплатформенный дистанционный мониторинг воздействия изменения климата на северные леса России // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 445. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
168. *Стыценко Ф.В., Барталев С.А., Сайгин И.А.* Исследование возможностей многолетнего мониторинга состояния поврежденных пожарами лесов на основе спутниковых данных // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 438. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
169. *Ховратович Т.С., Барталев С.А.* Анализ возможностей и развитие алгоритма детектирования рубок леса по спутниковым данным высокого пространственного разрешения // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 447. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
170. *Саворский В.П., Кашницкий А.В., Панова О.Ю.* Разработка информационных инструментов для эффективного дистанционного мониторинга результатов антропогенного воздействия на ареалы растений // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 58. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
171. *Ерошенко Ф.В., Барталев С.А., Лапенко Н.Г., Самофал Е.В., Сторчак И.Г.* Анализ деградации пастбищ по данным дистанционного зондирования Земли // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 404. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
172. *Лупян Е.А., Прошин А.А., Балашов И.В., Бурцев М.А., Кашницкий А.В., Толпин В.А., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Уваров И.А.* Центр коллективно пользования "ИКИ-Мониторинг" (организация распределенной работы со сверхбольшими архивами спутниковых данных для решение научных и прикладных задач) // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 8. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
173. *Бурцев М.А., Милехин О.Е., Крамарева Л.С., Антонов В.Н., Балашов И.В., Кашницкий А.В., Лупян Е.А., Матвеев А.М., Прошин А.А., Успенский С.А.* Объединенная система распределенной работы с данными центров приема НИЦ "Планета: текущие возможности и перспективы развития // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 4. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
174. *Лупян Е.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Сенько К.С., Кобец Д.А.* Особенности пожароопасного сезон 2018 года // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 417. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
175. *Барталев С.А., Лупян Е.А., Лукина Н.В., Ершов Д.В.* Опыт создания и перспективы развития информационных систем дистанционного мониторинга лесов России // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2018. С. 2. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

176. *Уваров И.А., Никифоров О.В., Петрукович А.А.* Функциональные возможности информационной системы "Аврора-Арктика" // Вторая Всероссийская конференция "Гелиогеофизические исследования в Арктике". 24-26 сентября 2018 года. Мурманск, 2018. С. 60.
177. *Никифоров О.В., Петрукович А.А., Уваров И.А.* Геоинформационная система "Аврора-Арктика". Год опытной эксплуатации // Вторая Всероссийская конференция "Гелиогеофизические исследования в Арктике". 24-26 сентября 2018 года. Мурманск, 2018. С. 33.
178. *Loupian E.A., Lavrova O. Yu., Kashnitskiy A.V., Uvarov I.A.* “See The Sea” – new opportunities for collective distributed work for solution oceanographic tasks using remote sensing // International Conference on Marine Data and Information Systems (IMDIS 2018). Barcelona. 5-7 November, 2018. P. 91-93. **(РНФ)**
179. *Барталев С.А.* Развитие автоматизированных методов и технологий обработки данных дистанционного зондирования для решения задач мониторинга лесов России // Научно-техническая конференция профессорско-педагогического состава, аспирантов и студентов Мытищинского филиала МГТУ им. Н. Э. Баумана по итогам научно-исследовательских работ за 2017 год. 29-31 января 2018. Москва. Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана.
180. *Лупян Е.А.* Технологии построения информационных систем спутникового мониторинга: современные возможности и перспективы развития // IX Всероссийская научно-техническая конференция «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий». 5-7 июня 2018. АО «Российские космические системы». Москва.
181. *Кашницкий А.В., Уваров И.А., Прошин А.А., Константинова А.М., Балашов И.В.* Метод организации систем интерактивной обработки информации, предоставляемой большими распределенными архивами данных ДЗЗ // IX Всероссийская научно-техническая конференция «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий». 29-31 января 2018. Москва. Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана.
182. *Бурцев М.А., Балашов И.В., Кашницкий А.В., Матвеев А.М., Милехин О.Е., Соловьев В.И., Толпин В.А.* Объединенная система распределенной работы с данными центров приема НИЦ "Планета" – особенности построения и текущие возможности // IX Всероссийская научно-техническая конференция «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий». 29-31 января 2018. Москва. Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана.
183. *Барталев С.А., Суховольский В.Г., Замолодчиков Д.Г., Лукина Н.В.* Вклад академика А.С. Исаева в развитие лесной науки // III Всероссийской научной конференции с международным участием «Научные основы устойчивого управления лесами». 30 октября - 1 ноября 2018 г. Москва.
184. *Барталев С.А.* Потенциал применения методов дистанционного зондирования Земли из космоса для национальной оценки углеродного бюджета лесов России // // III Всероссийской научной конференции с международным участием «Научные основы устойчивого управления лесами». 30 октября - 1 ноября 2018 г. Москва.
185. *Лупян Е.А., Лутовинов А.А.* Обеспечение информационной связанности территории России за счет использования систем дистанционного зондирования Земли // 17-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». 19 - 23 ноября 2018. Москва.
186. *Краюшкин Е.В., Лаврова О.Ю., Назирова К.Р.* Субмезомасштабные вихревые образования в прибрежной зоне юго-восточной части Балтийского моря по данным дистанционного спутникового зондирования и океанографических экспериментов в период 2014–2018 гг. // 16-я Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: тезисы докладов. 12–16 ноября 2018, ИКИ РАН, Москва. С. 285.

187. *Лаврова О.Ю.* Возможность получения динамических и пространственных характеристик процессов и явлений в прибрежной зоне на основе комплексного использования спутниковых данных с различных сенсоров // Материалы 9-й международной Школы-семинара «Спутниковые методы и системы исследования Земли». Таруса, 12–16 апреля 2018. **(РНФ)**
188. *Лаврова О.Ю., Лупян Е.А., Митягина М.И., Уваров И.А.* Информационная система "See The Sea": текущие возможности и перспективы развития // 16-я Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: тезисы докладов. 12–16 ноября 2018, ИКИ РАН, Москва. 2018. С. 7. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
189. *Митягина М.И.* Спутниковые наблюдения естественных нефтяных выходов на морскую поверхность в юго-восточной части Черного моря // Материалы 9-й международной Школы-семинара «Спутниковые методы и системы исследования Земли». Таруса, 12–16 апреля 2018. **(РНФ)**
190. *Митягина М.И., Лаврова О.Ю.* Фронты малых масштабов во внутренних морях // 16-я Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: тезисы докладов. 12–16 ноября 2018, ИКИ РАН, Москва. 2018. С. 301. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
191. *Назирова К.Р., Лаврова О.Ю., Соловьев Д.М., Краюшкин Е.В., Строчков А.Я.* Определение характеристик плюма р. Мзымта на основе спутниковых данных и измерений in-situ в апреле 2018 г. // 16-я Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: тезисы докладов. 12–16 ноября 2018, ИКИ РАН, Москва. 2018. С. 306. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
192. *Krayushkin E.V., Lavrova O.Yu., Nazirova K.R.* Distinctive features of surface circulation in the southeastern part of the Baltic Sea by subsatellite oceanographic experiments held in 2014–2017 // 2nd Baltic Earth Conference The Baltic Sea in Transition. Helsingør, Denmark, 11–15 June 2018. **(РНФ)**
193. *Lavrova O., Bocharova T., Nazirova K.* Case Study of Oil Pollution from Ship in the Gulf of Lion Using Sentinel Data // 5th Advances in SAR Oceanography workshop. SeaSAR 2018, 7–10 May 2018, ESA-ESRIN, Frascati, Italy.
194. *Lavrova O.Y., Krayushkin E.V., Nazirova K.R., Strochkov A.Y.* Vortex structures in the Southeastern Baltic Sea: Satellite observations and concurrent measurements // SPIE Remote Sensing Conferences. 2018, 10–13 September 2018, Berlin, Germany. **(РНФ)**
195. *Lavrova O., Krayushkin E., Strochkov M., Soloviev D.* Integrated use of quasi-synchronous satellite data to restore the dynamic characteristics of hydrodynamic processes in the coastal zone // International Conference on Advanced Remote Sensing ICARS 2018. 16–18 October 2018, Wuhan, China.
196. *Lavrova O., Lebedev S., Shchegolikhina M.* Comparison of Curonian and Vistula Lagoons plumes based on satellite data // 7th IEEE/OES Baltic Symposium "Clean and Safe Baltic Sea and Energy Security for the Baltic countries". Klaipėda, Lithuania, June 12–15, 2018.
197. *Lavrova O., Mityagina M.* Long-lasting ship wake as indicator of fine current structure in area of intense algae bloom // International Conference on Advanced Remote Sensing ICARS 2018. 16–18 October 2018, Wuhan, China. **(РНФ)**
198. *Lavrova O., Nazirova K., Soloviev D.* Internal waves on river plumes // IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2018). 22–27 July, Valencia, Spain.
199. *Lavrova O., Nazirova K., Soloviev D.* Internal waves on river plumes // Proc. 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). **(Web of Sciences, Scopus)**
200. *Mityagina M., Lavrova O.* Oil slicks from natural hydrocarbon seeps in the Southeastern Black Sea, their drift and fate as observed via remote sensing // IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2018). 22–27 July, Valencia, Spain. **(РНФ)**

201. *Mityagina M.I., Lavrova O.Yu.* Satellite remote sensing of submesoscale fronts in inner seas // SPIE Remote Sensing Conferences 2018. 10–13 September 2018, Berlin, Germany. **(РНФ)**
202. *Nazirova K., Lavrova O.* Monitoring of marine pollution in the Gulf of Lion based on remote sensing // OCEANS'18 MTS/IEEE. May 28–31, 2018, Kobe, Japan. **(РНФ)**
203. *Tikhonov V.V., Alekseeva T.A., Boyarskii D.A., Khvostov I.V., Kitaev L.M., Komarova N.Yu., Raev M.D., Repina I.A., Romanov A.N., Sharkov E.A.* Satellite microwave radiometry of The Earth's cryosphere // Practical Geography and XXI Century Challenges. International Scientific and Practical Conference, 4–6 June 2018, Moscow. Institute of Geography, Russian Academy of Sciences. Conference Book. Part 1. P. 542–546.
204. *Романов А.Н., Хвостов И.В., Уланов П.Н., Тихонов В.В., Боярский Д.А., Шарков Е.А., Печкин А.С., Железнова Е.В.* Оценка гидролого-климатических изменений в Арктике по данным спутникового микроволнового зондирования акваторий окраинных морей Северного Ледовитого океана и прилегающей тундры // 16-я Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: тезисы докладов. Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2018. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
205. *Шарков Е.А., Раев М.Д., Тихонов В.В., Комарова Н.Ю.* Прогностические модели Северной полярной шапки за период 1992–2040 гг. по данным спутниковой микроволновой радиометрии на основе алгоритма NASA Team 2 // 16-я Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: тезисы докладов. Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2018. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
206. *Тихонов В.В., Хвостов И.В., Романов А.Н., Боярский Д.А., Шарков Е.А.* Анализ сезонной динамики яркостной температуры Обской губы по данным SMOS // 16-я Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: тезисы докладов. Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2018. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
207. *Тихонов В.В., Раев М.Д., Хвостов И.В., Боярский Д.А., Романов А.Н., Шарков Е.А., Комарова Н.Ю.* Динамика сезонной зависимости яркостной температуры ледового щита Антарктиды по данным SSMIS и MIRAS // 16-я Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: тезисы докладов. Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2018. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
208. *Боярский Д.А., Хвостов И.В., Романов А.Н., Тихонов В.В., Шарков Е.А.* Мониторинг сезонных изменений излучательной способности Кулундинской равнины Алтайского края в L-диапазоне // 16-я Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: тезисы докладов. Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2018. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
209. *Кузьмин А.В., Веденькин Н., Квитка В.Е., Козлова Т.О., Минаев П.Ю., Пашинов Е.В., Позаненко А.С., Прасолов В.О., Садовский И.Н., Сазонов Д.С., Селунский А.Б., Стерлядкин В.В., Хапин Ю.Б., Черненко А.М., Шарков Е.А.* Космический эксперимент «Конвергенция»: эскизный проект научной аппаратуры // 16-я Всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: тезисы докладов. Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2018. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
210. *Кузьмин А.В., Козлова Т.О., Пашинов Е.В., Садовский И.Н., Сазонов Д.С., Селунский А.Б., Стерлядкин В.В., Хапин Ю.Б.* Микроволновый радиометр-спектрометр МИРС в космическом эксперименте «Конвергенция» (результаты эскизного проекта) // 16-я Всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: тезисы докладов. Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2018. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
211. *Сазонов Д.С., Садовский И.Н., Кузьмин А.В.* Восстановление ТПО и скорости ветра по радиометрическим измерениям в КЭ «Конвергенция» // 16-я Всероссийская открытая

ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: тезисы докладов. Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2018. С. 468. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

212. *Сазонов Д.С., Стерлядкин В.В., Кузьмин А.В.* Алгоритм определения направления ветра в КЭ «Конвергенция» на примере данных спутникового радиометра WindSat // 16-я Всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: тезисы докладов. Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2018. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

213. *Селунский А.Б., Кузьмин А.В., Садовский И.Н. Пашинов Е. В., Стерлядкин В.В., Хохлова А.В.* Обратная задача для восстановления профилей температуры и влажности тропосферы. Метод нейронных сетей // 16-я Всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: тезисы докладов. Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2018.

214. *Tikhonov V.V., Alekseeva T.A., Boyarskii D.A., Khvostov I.V., Kitaev L.M., Komarova N.Yu., Raev M.D., Repina I.A., Romanov A.N., Sharkov E.A.* Satellite microwave radiometry of The Earth's cryosphere // Practical Geography and XXI Century Challenges. International Scientific and Practical Conference. 4–6 June 2018, Moscow. Institute of Geography, Russian Academy of Sciences. http://100igras.ru

215. *Шарков Е.А., Раев М.Д., Тихонов В.В., Комарова Н.Ю.* Прогностические модели Северной полярной шапки за период 1992–2040 гг. по данным спутниковой микроволновой радиометрии на основе алгоритма NASA Team 2 // 16-я Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2018. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=153

216. *Арумов Г.П., Бухарин А.В.* Особенности калибровки лидара, состоящего из двух вложенных биаксиальных схем зондирования с различными полями зрения // 16-я Всероссийская открытая ежегодная конференция « Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: тезисы докладов. 12–16 ноября 2018, Москва, ИКИ РАН.http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

217. *Кондратьева Т.В., Жуков Б.С., Полянский И.В.* Сравнение радиометрических данных КМСС-М КА «Метеор-М» с MODIS КА Terra и OLI Landsat-8 (доклад) // Шестая Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов». Таруса, 10-13 сентября 2018. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

218. *Жуков Б.С., Жуков С.Б., Кондратьева Т.В., Никитин А.В.* Автоматизация полетной геометрической калибровки Комплекса многозональной спутниковой съемки КМСС-М на КА «Метеор-М» №2 // Шестая Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов». Таруса, 10-13 сентября 2018г. Тезисы. С.44. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a

219. *Gusev A., Spjeldvik W., Martin I., et al.* A1.1-0066-18 Ambient neutron and gamma monitoring in Brazilian tropics. Abstracts of 42nd COSPAR scientific assembly. July 14–22, 2018. Pasadena, USA, p.112.

220. *Gusev A., Martin I., Spjeldvik W., Alves M.* A1.1-0067-18 Dynamics of near-ground thermal neutrons of natural origin. Abstracts of 42nd COSPAR scientific assembly. July 14–22, 2018. Pasadena, USA, p.112.

221. *Spjeldvik W., Martin I., Gusev A.* D3.5-0035-18 Mathematics of Ionic Charge State Distributions in the Earth's Radiation Belts. Abstracts of 42nd COSPAR scientific assembly. July 14–22, 2018. Pasadena, USA, p.1312.

222. *Spjeldvik W., Martin I., Gusev A.* D3.5-0037-18 Charge states of KeV and MeV heavy ions confined in the Earth's magnetosphere. Abstracts of 42nd COSPAR scientific assembly. July 14–22, 2018. Pasadena, USA, p.1313.

223. *Erokhin N., Shkevov R., Zolnikova N., Artekha S., Mikhailovskaya L.* Small parametric model for nonlinear dynamics of tropical cyclones with ocean temperature variations. 42nd COSPAR Scientific Assembly. Held 14-22 July 2018, in Pasadena, California, USA, Abstract id. A2.1-31-18. Vol. 42. 2018.
224. *Селунский А.Б., Кузьмин А.В., Садовский И.Н. Пашинов Е.В., Стерлядкин В.В., Хохлова А.В.* Обратная задача для восстановления профилей температуры и влажности тропосферы. Метод нейронных сетей // Шестнадцатая всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: Тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2018. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-29-41.
225. *Левина Г.В., Зарипов Р.Б.* Облако-разрешающее численное моделирование глубокой конвекции при образовании квазитропического циклона над Черным морем // Шестнадцатая Всероссийская Открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН. 12-16 ноября 2018 г. Сборник тезисов конференции, 2018. С. 193.
226. *Левина Г.В.* Роль вихревой влажной конвекции в создании турбулентного вихревого динамо в атмосфере // Шестнадцатая Всероссийская Открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН. 12-16 ноября 2018 г. Сборник тезисов конференции, 2018. С. 194.
227. *Ерохин Н.С., Зольникова Н.Н., Михайловская Л.А., Артеха С.Н.* Исследование на основе МПМ модели динамики крупномасштабного циклогенеза для средних периодов вариаций фоновой обстановки в области ТЦ // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", 12 - 16 ноября 2018 г., г. Москва, ИКИ РАН. Тезисы докладов, С. 35.
228. *Ижовкина Н.И., Артеха С.Н., Ерохин Н.С., Михайловская Л.А.* Атмосферная вихревая активность и аэрозоли // Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", 12 - 16 ноября 2018 г., г. Москва, ИКИ РАН. Тезисы докладов, С. 39.
229. *Арумов Г.П., Бухарин А.В.* Особенности калибровки лидара, состоящего из двух вложенных биаксиальных схем зондирования с различными полями зрения // Шестнадцатая Всероссийская открытая ежегодная конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 12 - 16 ноября 2018 г. Москва, ИКИ РАН. Тезисы докладов, С. 153. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a.
230. Лупян Е.А. Технологии ДЗЗ в образовании // Круглый стол "Технологии дистанционного зондирования Земли для цифровой экономики: возможности и перспективы развития" Всероссийского научно-практического форума с международным участием "Цифровизация-2018", 3-5 декабря 2018, МГУ им. М.В. Ломономова, Москва.
231. *Кашницкий А.В., Лупян Е.А., Прошин А.А.* Организация анализа и обработки информации из больших распределенных архивов данных дистанционного зондирования Земли // Национальный Суперкомпьютерный Форум (НСКФ-2018). Тезисы. Переславль-Залесский. 27 – 30 ноября, 2018.

Патенты

232. *Стерлядкин В.В.* Способ бескалибровочного радиометрического измерения эффективного коэффициента излучения шероховатой подстилающей поверхности. Патент РФ № 2655610. Зарегистрирован 29.05.2018.
233. Патент № 2670246, выдан *Князеву Н.А., Втюбрину С.А.,* дата регистрации патента 19.10.2018 по заявке № 2018101296 «Способ управления временем и областью сьемки при дистанционном зондировании». Выдан руководителем Федеральной службы по интеллектуальной собственности Г.П. Ивлиевым.

Диссертации

234. *Сазонов Д.С.* Многопараметрическая модель радиотеплового излучения взволнованной морской поверхности: анализ спутниковой информации и надводных измерений: дис. канд. физ.-мат. наук. ИКИ РАН, Москва, 2018.
235. *Кашницкий А.*В. Методы, модели и программные инфраструктуры глобально распределенной обработки архивных данных дистанционного зондирования Земли: дис. канд. техн. наук. ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет», г. Рязань, 2018.
236. *Кобец Д.*А. Модели и программная инфраструктура для проектирования интерфейсов контроля и управления распределенной обработкой и анализа спутниковых данных на основе BI-технологий: дис. канд. техн. наук. ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет», г. Рязань, 2018.