

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

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

« 24 » декабря 2020 г.

отчет о НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

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

(промежуточный)

Тема МОНИТОРИНГ

0028-2019-0015

Научный руководитель

Д.Т.Н. Е.А. Лупян

« 24 » декабря 2020 г.

Москва

2020

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

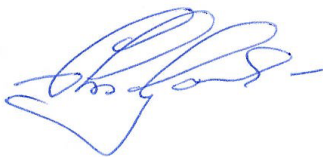
Руководитель темы
зав. отд. д.т.н.



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.



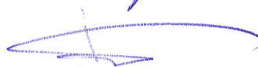
Шарков Е.А.

зав.отд., д.ф.-м.н.



Ерохин Н.С.

гл. конструктор проекта



Полянский И.В.

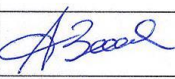
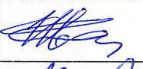
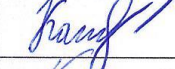
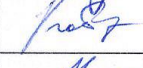
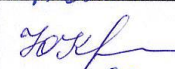
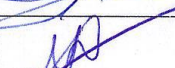
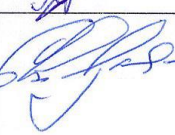
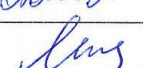
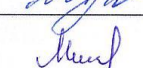
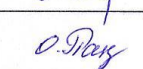
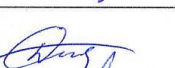
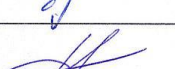
ведущий научный сотрудник,
к.ф.-м.н.

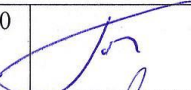
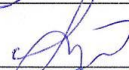
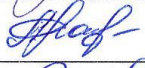
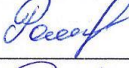
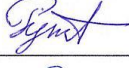
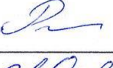
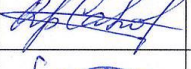
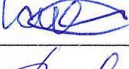
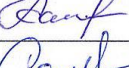
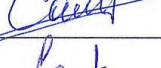
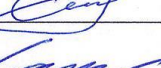
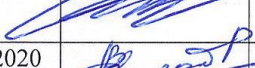
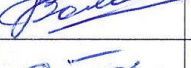
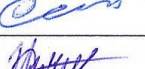
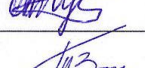
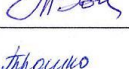
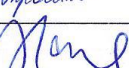
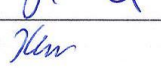
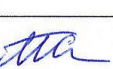
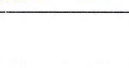


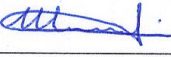
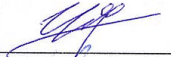
Лаврова О.Ю.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ отдел 56

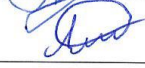
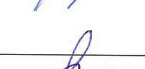
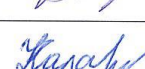
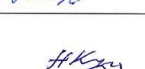
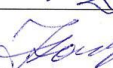
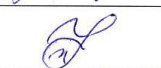
Должность, ученая степень, ученое звание		Подпись	ФИО	Номера разделов отчета, в работе по которым принимал участие исполнитель
инженер	10.12.2020		Андреев М.В.	1
ведущий инженер	10.12.2020		Артамонова Ю.В.	1
старший научный сотрудник, к.т.н.	10.12.2020		Балашов И.В.	1,3
главный научный сотрудник, д.т.н. профессор	10.12.2020		Барталев С.А.	Руководство направлением "Мониторинг-биосфера" 2,7
главный специалист, к.т.н.	10.12.2020		Барталев С.С.	2
ведущий конструктор, к.х.н.	10.12.2020		Белоконь З.С.	1
инженер	10.12.2020		Богодухов М.А.	2
инженер	10.12.2020		Бриль А.А.	1,7
старший научный сотрудник, к.т.н.	10.12.2020		Бурцев М.А.	1,3,7
инженер	10.12.2020		Бушмелева Е.В.	1
ведущий специалист, д.т.н.	10.12.2020		Ведешин Л.А.	1
инженер	10.12.2020		Ворушилов И.И.	2,7
главный специалист	10.12.2020		Дегай А.Ю.	1
инженер	10.12.2020		Денисов П.В.	1,7
инженер	10.12.2020		Дианова Д.С.	1,7
старший научный сотрудник, к.т.н.	10.12.2020		Егоров В.А.	2
инженер	10.12.2020		Ёлкина Е.С.	2,7
ведущий конструктор	10.12.2020		Ершов Д.В.	2
инженер	10.12.2020		Ефремов В.Ю.	1,3
научный сотрудник, к.ф.-	10.12.2020		Жарко В.О.	2,7

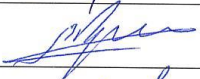
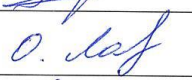
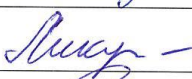
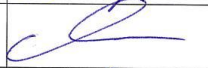
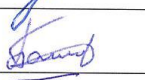
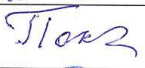
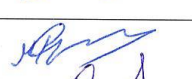
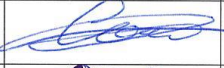
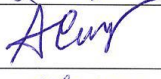
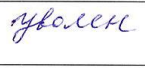
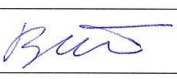
М.Н.				
научный сотрудник, к.т.н.	10.12.2020		Златопольский А.А.	1
инженер	10.12.2020		Иванова А.А.	2
научный сотрудник, к.т.н.	10.12.2020		Кашницкий А.В.	1,3,7
младший научный сотрудник, к.т.н.	10.12.2020		Кобец Д.А.	1,7
главный специалист, к.ф.-м.н.	10.12.2020		Козочкина А.А.	1,7
младший научный сотрудник	10.12.2020		Колбудаев П.А.	2
инженер	10.12.2020		Константинова А.М.	1,3
старший научный сотрудник, к.ф.-м.н.	10.12.2020		Крашенинникова Ю.С.	1,7
Ведущий конструктор, к.г.н.	10.12.2020		Ладонина Н.Н.	2,7
инженер	10.12.2020		Лозин Д.В.	1
заведующий отделом, д.т.н.	10.12.2020		Лупян Е.А.	Общее руководство темой Руководство направлением "Мониторинг-Технологии" 1,2,3,7
ведущий научный сотрудник, к.ф.-м.н.	10.12.2020		Мазуров А.А.	1,7
ведущий конструктор.	10.12.2020		Марченков В.В.	1
младший научный сотрудник	10.12.2020		Матвеев А.М.	1
младший научный сотрудник	10.12.2020		Миклашевич Т.С.	2
ведущий конструктор	10.12.2020		Панова О.Ю.	1,2
старший научный сотрудник, к.ф.-м.н.	10.12.2020		Плотников Д.Е.	2,7
старший научный сотрудник, к.т.н.	10.12.2020		Прошин А.А.	1,3,7
техник	10.12.2020		Пчеловодов Д.Л.	1

заведующий лабораторией, к.ф.-м.н.	10.12.2020		Пырков В.Н.	1
ведущий инженер	10.12.2020		Радченко М.В.	1
ведущий специалист	10.12.2020		Романов А.А.	1
ведущий инженер	10.12.2020		Романова Л.В.	1
инженер	10.12.2020		Руткевич Б.П.	1
старший научный сотрудник, д.т.н.	10.12.2020		Руткевич П.Б.	1,5
ведущий специалист	10.12.2020		Саворский В.П.	1
инженер	10.12.2020		Сайгин И.А.	2,7
ведущий специалист	10.12.2020		Самиуллина Г.С.	1,7
инженер	10.12.2020		Самолетова М.И.	1
инженер	10.12.2020		Самофал Е.В.	2
инженер	10.12.2020		Сенько К.С.	1
инженер	10.12.2020		Середа И.И.	1,7
инженер	10.12.2020		Сидоренков В.М.	2
главный конструктор проекта	10.12.2020		Скачков В.А.	1
инженер	10.12.2020		Солодилов А.В.	1
научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Стыценко Ф.В.	2
младший научный сотрудник	10.12.2020		Сычугов И.Г.	1
старший научный сотрудник, к.т.н.	10.12.2020		Толпин В.А.	1
инженер	10.12.2020		Трошко К.А.	1,7
старший научный сотрудник, к.т.н.	10.12.2020		Уваров И.А.	1,3
научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Хвостиков С.А.	2
младший научный сотрудник	10.12.2020		Ховратович Т.С.	2

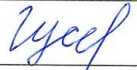
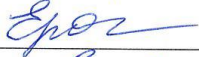
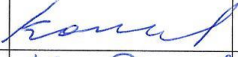
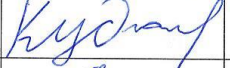
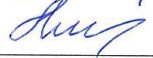
инженер	10.12.2020		Черных В.Н.	1
старший научный сотрудник, к.г.н.	10.12.2020		Шабанов Н.В.	2
научный сотрудник, кн	10.12.2020		Шинкаренко С.С.	2
Старший лаборант	10.12.2020		Юдин Д.А.	1,7

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ отдел 55

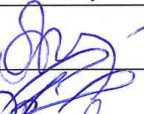
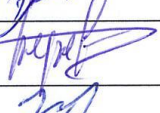
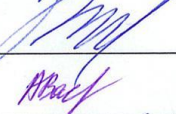
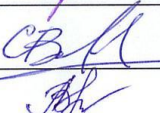
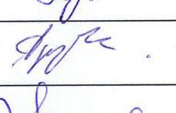
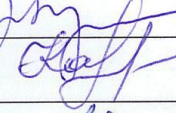
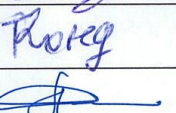
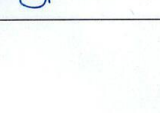
Должность, ученая степень, ученое звание	Дата	Подпись	ФИО	Номера разделов отчета в работе по которым принимал участие исполнитель
ведущий инженер	10.12.2020		Алексеева Т.А.	3
электроник	10.12.2020		Антонов В.С.	4
ведущий научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Арумов Г.П.	5
ведущий электроник	10.12.2020		Беляков Г.И.	4
научный сотрудник	10.12.2020		Бочарова Т.Ю.	4,7
старший научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Боярский Д.А.	3
старший научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Бухарин А.В.	5
старший научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Ванина-Дарт Л.Б.	5
ведущий программист	10.12.2020		Втюрин С.А.	5
ведущий инженер	10.12.2020		Городецкий А.К.	5
ведущий инженер	10.12.2020		Горшков А.А.	4
ведущий научный сотрудник, д.н.	10.12.2020		Ермаков Д.М.	3
ведущий инженер	10.12.2020		Зверева О.О.	3
инженер	10.12.2020		Калашникова Н.А.	4
инженер	10.12.2020		Князев Н.А.	4, 7
научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Князев Н.А.	5
главный специалист	10.12.2020		Комарова Н.Ю.	3,7
ведущий инженер	10.12.2020		Кондакова И.С.	7
младший научный сотрудник	10.12.2020		Краюшкин Е.В.	4

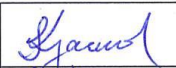
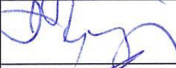
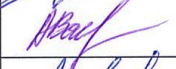
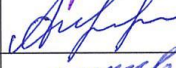
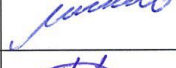
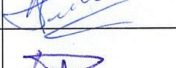
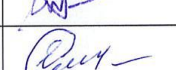
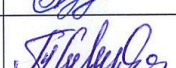
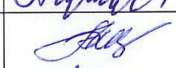
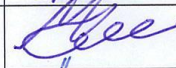
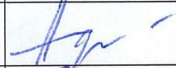
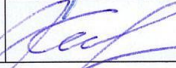
ведущий инженер	10.12.2020		Кузнецова М.А.	5
ведущий научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Кузьмин А.В.	3,4,5
ведущий научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Лаврова О.Ю.	4,7
ведущий инженер	10.12.2020		Ликучева Т.В.	7
научный сотрудник	10.12.2020		Ляш А.Н.	5
старший научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Митягина М.И.	4,7
младший научный сотрудник	10.12.2020		Пашинов Е.В.	4
главный специалист	10.12.2020		Покровская И.В.	3
ведущий научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Раев М.Д.	4
главный специалист	10.12.2020		Русаков М.Ю.	4
старший научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Садовский И.Н.	4
научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Сазонов Д.С.	4
ведущий математик	10.12.2020		Селунский А.Б.	4
научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Скворцов Е.И.	4
ведущий инженер	10.12.2020		Соколова Ю.В.	3
старший научный сотрудник, д.н.	10.12.2020		Стерлядкин В.В.	4
научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Строчков А.Я.	4,7
ведущий инженер	10.12.2020		Сячинов В.И.	5
старший научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Тихонов В.В.	3
ведущий математик	10.12.2020		Тюрин А.В.	5
зав отдела, д.н.	10.12.2020		Шарков Е.А.	3,4,5

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ отдел 51

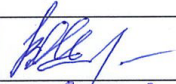
Должность, ученая степень, ученое звание	Дата	Подпись	ФИО	Номера разделов отчета в работе по которым принимал участие исполнитель
зав лабораторией, к.н.	10.12.2020		Артеха С.Н.	5.2.2
ведущий научный сотрудник, д.н.	10.12.2020		Астафьева Н.М.	5.2.3
ведущий инженер	10.12.2020		Белян А.В.	5.2.2
старший научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Гусев А.А.	5.4
зав отдела, д.н.	10.12.2020		Ерохин Н.С.	5.2.2
главный научный сотрудник дн	10.12.2020		Захаров В.Е.	5.2.3
научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Зольникова Н.Н.	5.4
главный специалист	10.12.2020		Каленова Н.И.	5.2.1
ведущий научный сотрудник, д.н.	10.12.2020		Кудашев Е.Б.	5.2.1
старший научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Левина Г.В.	5.2.4
младший научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Михайловская Л.А.	5.2.2
ведущий научный сотрудник, д.н.	10.12.2020		Онищенко О.Г.	5.2.3
старший научный сотрудник	10.12.2020		Шалимов С.Л.	5.1.2

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ отдел 57

Должность, ученая степень, ученое звание	Дата	Подпись	ФИО	Номера разделов отчета, в работе по которым принимал участие исполнитель
инженер	10.12.2020		Абрамов Н.Ф.	Раздел 6
главный научный сотрудник, д.н.	10.12.2020		Аванесов Г.А.	
младший научный сотрудник	10.12.2020		Белинская Е.В.	
инженер	10.12.2020		Беличенко М.Л.	
ведущий конструктор	10.12.2020		Белов В.Ю.	
инженер	10.12.2020		Бережков А.В.	
зав отдела, к.н.	10.12.2020		Бессонов Р.В.	
научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Брысин Н.Н.	
программист	10.12.2020		Ваваев М.В.	
научный сотрудник	10.12.2020		Василейская А.Н.	
старший научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Воронков С.В.	
инженер	10.12.2020		Гусева А.В.	
ведущий конструктор	10.12.2020		Дроздов А.А.	
старший научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Жуков Б.С.	
инженер	10.12.2020		Караваева Е.С.	
инженер	10.12.2020		Кобелева А.А.	
ведущий инженер	10.12.2020		Коломеев Е.В.	
старший научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Кондратьева Т.В.	
инженер	10.12.2020		Корольков С.А.	

ведущий инженер	10.12.2020		Краснопевцева Е.Б.
главный специалист	10.12.2020		Крупин А.А.
главный конструктор проекта	10.12.2020		Куделин М.И.
научный сотрудник	10.12.2020		Куркина А.Н.
конструктор	10.12.2020		Курячая А.А.
программист	10.12.2020		Лискив А.С.
ведущий конструктор	10.12.2020		Лукин А.Н.
главный конструктор проекта	10.12.2020		Муравьев В.М.
старший научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Никитин А.В.
инженер	10.12.2020		Новиков Д.К.
станочник широкого профиля 8 разряда	10.12.2020		Панферов В.И.
главный конструктор проекта	10.12.2020		Полянский И.В.
младший научный сотрудник	10.12.2020		Прохорова С.А.
младший научный сотрудник	10.12.2020		Сметанин П.С.
ведущий конструктор	10.12.2020		Соловьева Е.А.
научный сотрудник	10.12.2020		Строилов Н.А.
конструктор	10.12.2020		Суворова Л.М.
инженер	10.12.2020		Суворова Т.А.
ведущий конструктор	10.12.2020		Суханова Э.А.
инженер	10.12.2020		Теремок Ю.П.
конструктор	10.12.2020		Устинов В.Д.
ведущий научный сотрудник, к.н.	10.12.2020		Форш А.А.
программист	10.12.2020		Хорохорин Д.И.

Раздел 6

ведущий программист	10.12.2020		Шамис В.А.	Раздел 6
конструктор	10.12.2020		Ширшова Н.Г.	
младший научный сотрудник	10.12.2020		Эльяшев Я.Д.	
конструктор	10.12.2020		Ядвичук Е.В.	

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ отдел Ц90

Должность, ученая степень, ученое звание	Дата	Подпись	ФИО	Номера разделов отчета в работе по которым принимал участие исполнитель
старший лаборант	10.12.2020	<i>Аглова</i>	Аглова Е.А.	7
старший лаборант	10.12.2020	<i>Смолина</i>	Смолина А.В.	7
специалист	10.12.2020	<i>Щукина</i>	Щукина А.В.	7

РЕФЕРАТ

Отчет 173 стр., 93 рис., 151 источник.

НАСТОЯЩИЙ ОТЧЕТ ПОСВЯЩЕН ОПИСАНИЮ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТ, ПОЛУЧЕННЫХ В 2020 ГОДУ В РАМКАХ ТЕМЫ «МОНИТОРИНГ» (№ 0028-2019-0015), ВЫПОЛНЯЮЩЕЙСЯ В РАМКАХ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАДАНИЯ ИНСТИТУТОМ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. В ОТЧЕТЕ ПРИВОДЯТСЯ ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ, ЗАПЛАНИРОВАННЫХ НА 2020 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 РАСПРЕДЕЛЁННОЙ РАБОТЫ СО СВЕРХБОЛЬШИМИ АРХИВАМИ ДАННЫХ.

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ.....	2
РЕФЕРАТ	14
СОДЕРЖАНИЕ.....	15
ВВЕДЕНИЕ	21
РАЗДЕЛ 1 МОНИТОРИНГ-ТЕХНОЛОГИИ.....	23
Введение	23
1.1. Разработка подходов и развитие методов эффективной распределённой обработки данных ДЗЗ.	23
1.1.1. Разработка технологии получения, обработки и предоставления данных спутников серии Sentinel в центре коллективного пользования ИКИ-Мониторинг	23
1.1.1.1 Развитие системы сбора данных КА программы Sentinel	23
1.1.1.2 Развитие системы сбора данных программы EOS	25
1.1.2 Развитие подходов и систем дистанционного мониторинга природных и антропогенных различных объектов.....	25
1.1.3 Разработка методов верификации данных с помощью спутникового позиционирования на примере системы мониторинга рыболовства	28
1.1.4 Развитие инструментов графического анализа рядов данных в системе VolSatView	29
1.2 Создание и развитие специализированных информационных систем, ориентированных на исследование различных процессов и явлений, включая разработку методов использования данных ДЗЗ для их моделирования и прогнозирования	30
1.2.1 Развитие методов и инструментов распределённой работы с данными в интересах объединённой системы работы с данными НИЦ «Планета».....	30
1.2.2 Развитие информационной системы See The Sea	32
1.2.3 Разработка информационной системы дистанционного мониторинга бассейна реки Амударья и её притоков	33
1.2.4 Анализ распространения и ликвидации загрязнений, возникших в результате аварии на ТЭЦ-3 города Норильска 29.05.2020	37
1.3 Обеспечение работы и развития ЦКП «ИКИ-Мониторинг» для решения задач изучения и мониторинга природных и антропогенных процессов, в том числе, разработка подходов и методов интеграции различных информационных ресурсов для решения междисциплинарных задач	41
1.3.1 Текущие задачи ЦКП и их актуальность	41
1.3.2 Структура и технические возможности ЦКП и их развитие в 2020 году	42
1.3.3 Архивы спутниковых данных и их наполнение в 2020 году	43
1.3.4 Основные информационные продукты, предоставляемые ЦКП.....	46
1.3.5 УНУ «Вега-Science» и развитие ее в 2020 году	47
1.3.6 Научные и прикладные информационные системы, использовавшие возможности ЦКП в 2020 году	48

1.3.7 Пользователи ЦКП.....	51
1.3.8 Научные проекты, выполняемые с использованием возможностей ЦКП «ИКИ-Мониторинг» в 2020 году.....	51
1.3.9 Основные публикации, при подготовке которых были использованы возможности ЦКП.....	54
1.3.10 Анализ текущих особенностей и возможных направлений развития ЦКП «ИКИ-Мониторинг»	54
1.3.10.1 Текущие особенности развития ЦКП «ИКИ-Мониторинг».....	54
1.3.10.2 Возможное перспективное направление развития ЦКП «ИКИ-Мониторинг»	55
Заключение	56
РАЗДЕЛ 2 МОНИТОРИНГ-БИОСФЕРА	57
Введение	57
2.1 Развитие научных основ и автоматизированных методов обработки временных рядов мультисенсорных данных дистанционного зондирования для обеспечения долговременного мониторинга наземных компонент биосферы.....	57
2.1.1. Развитие методов восстановления временных серий мультиспектральных индикаторов состояния растительного покрова	57
2.1.2. Разработка методики автоматизированной дистанционной оценки густоты сельскохозяйственных растений.....	60
2.2 Развитие методов обработки данных ДЗЗ, направленных на получение устойчивых нормализованных наборов и рядов данных для оценки различных характеристик почвенно-растительного покрова	64
2.3 Развитие методов дистанционного мониторинга динамики наземных экосистем с использованием физических и эколого-математических моделей	68
2.4 Формирование и анализ многолетних рядов характеристик наземных компонент биосферы для исследования глобальных изменений, решения задач рационального природопользования и устойчивого развития	72
2.4.1. Анализ рядов нормированных показателей NDVI посевов для оценки состояния и динамики сельскохозяйственных культур.....	72
Заключение	76
РАЗДЕЛ 3 МОНИТОРИНГ-КЛИМАТ	77
Введение	77
3.1 Развитие методов количественных исследований процессов переноса скрытого тепла и теплообмена в системе глобальной циркуляции атмосферы Земли на синоптических и климатически значимых масштабах, в том числе, переноса из Атлантики в Арктику и из тропической зоны в антарктические регионы для изучения климатических и погодных изменений арктической и антарктической зон атмосферы Земли	77
3.1.1 Оценка площади морского льда в северном ледовитом океане по данным спутниковой микроволновой радиометрии	78

3.1.2 Анализ глубины промерзания почвы по данным радиометра MIRAS (1.4 ГГц) спутника SMOS, для исследования региональных климатических и гидрологических изменений	80
3.1.3 Прогнозирование лавинной опасности методами микроволновой радиометрии	81
3.1.4 Развитие методов детального объективного анализа параметров глобальной атмосферной циркуляции на основе спутниковой радиометрической информации	85
3.1.5 Применение метода спутникового радиотепловидения для анализа климатических вариаций Арктического региона.....	86
3.2 Развитие методов изучения крупномасштабных опасных природных явлений, в том числе вулканической активности и катастрофических природных пожаров	88
3.2.1 Совершенствование системы VolSatView	88
3.2.2 Исполнения системы VolSatView для анализа извержений вулканов Ключевской и Безымянный в 2019-2020 годах	90
3.2.2.1. Анализ извержения вулкана Безымянный 15 марта 2019 года.....	90
3.2.2.1. Анализ извержения вулкана Безымянный 21 октября 2020 года	91
3.2.3 Разработка подходов оперативного прогноза гибели лесов на основе данных о радиационной мощности пожаров	91
3.2.4 Анализ особенностей использования набора данных MC6 для оценки площадей, пройденных лесными пожарами.....	94
3.2.5 Особенности распределения точек возникновения лесных пожаров на территории России в 21 веке	97
Заключение	102
РАЗДЕЛ 4 МОНИТОРИНГ-ОКЕАН	103
Введение	103
4.1 Разработка методик и проведение исследований нелинейной динамики спектральных компонент морского волнения методами пассивной и активной спутниковой радиополяриметрии для решения задач крупномасштабного экологического мониторинга морских акваторий	103
4.1.1 Исследование третьего параметра Стокса электромагнитного излучения морской поверхности	104
4.1.2 Азимутальная зависимость радиояркостной температуры по данным эксперимента 2019 года	105
4.1.3 Разработка оптического волнографа для регистрации полного спектра уклонов морской поверхности.....	108
4.1.4 Восстановление температуры поверхности океана по данным прибора МТВ3А	109
4.2 Разработка научных основ совместного использования новейших микроволновых и оптических спутниковых сенсоров для оценки экологического состояния морских акваторий, включая арктические регионы	111
4.2.1 Развитие методики выявления последствий сгонно-нагонных явлений в прибрежных зонах морей	111

4.2.2 Комплексное использование спутниковых данных для выявления аномально позднего становления ледяного покрова в проливе Карские ворота в 2020 году	114
4.3 Развитие методов количественной оценки параметров гидродинамических процессов в верхнем слое океана и в придном слое атмосферы на основе многолетних рядов данных ДЗЗ	115
4.3.1 Апробация методов выявления влияния сезонной изменчивости поверхностных течений на распространение плёнок естественных нефтепроявлений в юго-восточной части Чёрного моря на основе многолетних рядов данных спутникового дистанционного зондирования	115
4.3.2 Сравнение результатов применения различных алгоритмов определения мутности воды и концентрации взвешенного вещества на основе спутниковых данных. Сравнение с результатами синхронных подспутниковых измерений	118
Заключение	122
РАЗДЕЛ 5 МОНИТОРИНГ-АТМОСФЕРА	123
Введение	123
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.	123
5.1.1 Выбор спектрального участка для спутникового мониторинга содержания метана в приземном слое атмосферы	123
5.1.2 О возмущениях ионосферы, регистрируемых посредством GPS во время метеоцунами	124
5.2 Развитие моделей и методов анализа данных для мониторинга и прогноза состояния атмосферы, включая выявление закономерностей формирования и динамики мощных вихревых структур с учётом ветровых потоков, фазовых переходов влаги, атмосферного электричества, вариаций космических лучей в целях мониторинга и прогноза атмосферных процессов.	125
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.	125
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 учётом влияния аэрозолей, электромагнитных полей и струйных течений.....	126
5.2.3 Исследование структуры и динамики вихревых мезомасштабных структур в атмосферах планет	126
5.2.4 Применение концепции турбулентного вихревого динамо для ранней диагностики тропического циклогенеза и анализа аномально-интенсивных атмосферных конвективных явлений.....	127

5.3 Разработка новых методов обработки данных дистанционных наблюдений в ИК и видимом диапазоне и лидарных наблюдений для определения характеристик облачности	127
5.3.1 Процедура отбора алгоритма идентификации в реальном времени облачных образований из космоса	127
5.3.2 Анализ методов моделирования трансформации распространяющегося в среде (атмосфере) пучка с помощью рассеивающих экранов	128
5.4 Исследование вариаций рентгеновской атмосферной эмиссии по данным спутниковых экспериментов.....	128
5.5 Развитие методик решения задач восстановления профилей влажности и температуры тропосферы по микроволновым радиометрическим измерениям из космоса с использованием нейронных сетей	129
Заключение	131
РАЗДЕЛ 6 МОНИТОРИНГ-ЭФФЕКТ	132
Введение	132
6.1 Развитие методов ДЗЗ аппаратурой с пространственный спектральным расщеплением светового пучка на основе мультисенсорных данных космического комплекса «Метеор-М» № 3	132
6.1.1 Исследование межгодового тренда чувствительности камер комплекса многозональной спутниковой съёмки КМСС-М на КА «Метеор-М»	132
6.2. Разработка методики и проведение полётной радиометрической калибровки приборов КМСС-М и КМСС-2	133
6.3 Разработка методов построения высококачественных информационных продуктов на основе данных прибора КМСС	137
Заключение	139
РАЗДЕЛ 7 МОНИТОРИНГ-ИНФРАСТРУКТУРА.....	140
Введение	140
7.1. Ежегодное проведение научной конференций «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»	140
7.2 Проведение научных семинаров и школ-конференций по фундаментальным проблемам ДЗЗ из космоса.....	141
7.2.1 Проведение ежегодной Всероссийской научной школы-конференции по фундаментальным проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса	141
7.2.2 Проведение международной Школы-семинара «Спутниковые методы и системы исследования Земли»	141
7.3 Выпуск журнала «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса»	142
7.4 Подготовка и повышение квалификации кадров на базе Научно-образовательного центра ИКИ РАН. В том числе:	142
7.4.1 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»	142
7.4.2 Проведение конкурсов работ молодых учёных, работающих в области дистанционного мониторинга Земли, природных и антропогенных	143
7.4.3 Научно-методическое обеспечение работ базовых кафедр ИКИ РАН и образовательных курсов, проводимых специалистами ИКИ РАН, по направлению «Дистанционного зондирования и исследования Земли из космоса»	143
Заключение	144
РАЗДЕЛ 8 ВАЖНЕЙШИЕ ЗАКОНЧЕННЫЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ И ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИЕ РАБОТЫ, ВЫПОЛНЕННЫЕ В 2020 году И ГОТОВЫЕ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ	145
8.1. Решение задачи ежегодного мониторинга объёма древесной биомассы лесов России на основе данных дистанционного зондирования из космоса	145
8.2. Создание и апробация технологии контроля данных сельскохозяйственной микропереписи об использовании сельскохозяйственных угодий на основе средств спутникового мониторинга	146
РАЗДЕЛ 9 ГРАНТЫ ПО НАПРАВЛЕНИЮ МОНИТОРИНГ	148
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	151
ПУБЛИКАЦИИ	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 соответствии со следующими направлениями, указанными в Программе фундаментальных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы, утверждённой 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 отчёт посвящён описанию основных результатов работ, полученных в рамках данных направлений в 2020 году, которые выполнялись в соответствие с планом научных работ ИКИ РАН. Результаты, полученные по каждому из этих направлений, представлены в соответствующих разделах настоящего отчёта.

РАЗДЕЛ 1 МОНИТОРИНГ-ТЕХНОЛОГИИ

Введение

В настоящей главе отчёта представлены основные результаты, полученные в рамках работ по направлению «Мониторинг-Технологии», определённых в плане НИР ИКИ РАН на 2019–2021 годы:

- Разработка подходов и развитие методов эффективной распределённой обработки данных ДЗЗ. Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 1.1 настоящей главы.
- Создание и развитие специализированных информационных систем, ориентированных на исследование различных процессов и явлений, включая разработку методов использования данных ДЗЗ для их моделирования и прогнозирования. Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 1.2 настоящей главы.
- Обеспечение работы и развития ЦКП «ИКИ-Мониторинг» для решения задач изучения и мониторинга природных и антропогенных процессов, в том числе, разработка подходов и методов интеграции различных информационных ресурсов для решения междисциплинарных задач. Результаты, полученные по данному направлению описаны в разделе 1.3 настоящей главы.

Подробно полученные в данном направлении результаты изложены в следующих научных публикациях [1, 3, 25, 27, 29, 31, 32, 36, 37, 67, 69, 70, 74, 76, 78, 80, 98, 126, 128, 131, 133, 136, 137].

1.1. Разработка подходов и развитие методов эффективной распределённой обработки данных ДЗЗ.

1.1.1. Разработка технологии получения, обработки и предоставления данных спутников серии Sentinel в центре коллективного пользования ИКИ-Мониторинг

1.1.1.1 Развитие системы сбора данных КА программы Sentinel

Было продолжено пополнение архива в оперативном режиме данными спутников Sentinel Европейского космического агентства. На данный момент разработаны технологии, позволяющие в полностью автоматическом режиме получать, обрабатывать, заносить в распределённые архивы и предоставлять данные следующих спутников Sentinel: Sentinel-1A, Sentinel-1B, Sentinel-2A, Sentinel-2B, Sentinel-3A, Sentinel-3B, Sentinel-5P.

Получение практически всех данных, кроме данных по наблюдению океанов Sentinel-3, реализовано в полностью автоматическом режиме из центра Sentinel Scientific Data Hub (<https://scihub.copernicus.eu/>). Данные спутников Sentinel-3 по наблюдению океанов (например, данные по температуре водной поверхности по прибору SLSTR) предоставляются центром Eumetsat CODA (<https://coda.eumetsat.int/>). Для спутников Sentinel-2A, Sentinel-2B также организовано получение данных из Google Cloud (<https://cloud.google.com/storage/docs/public-datasets/sentinel-2>). Также реализована возможность получения данных Sentinel-1 и Sentinel-2 из хранилищ Amazon Web Services (AWS). Общая схема получения и предоставления данных КА серии Sentinel представлена на рисунке 1.1.1.1.1.

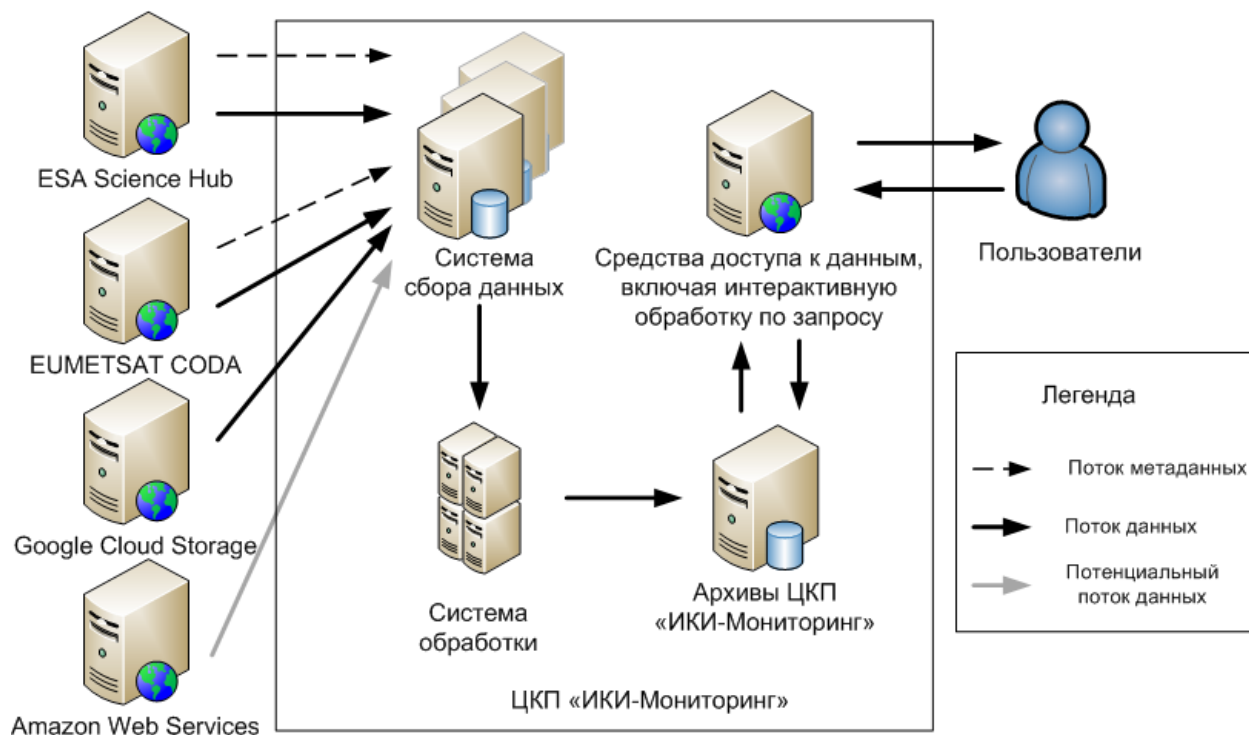


Рисунок 1.1.1.1.1 — Общая схема получения данных КА Sentinel из различных центров

Для решения задач мониторинга океанов и изменений климата в ИКИ РАН в 2020 году были проведены работы по адаптации и модернизации существующих технологий получения, обработки и предоставления данных для работы с информацией спутников Sentinel-3, предоставляемых центром Eumetsat CODA. Данные спутники оснащены приборами OLCI (Ocean and Land Color Instrument) и SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Radiometer). OLCI представляет собой спектрометр, измеряющий излучение в ультрафиолетовом, видимом и ближнем ИК-диапазонах для оценки состояния поверхности суши и океана, в первую очередь для экологических и биологических задач. Прибор имеет полосу сканирования шириной 1270 км с пространственным разрешением 300 м. SLSTR представляет собой радиометр, измеряющий излучение в видимом, коротковолновом и тепловом ИК-диапазонах для оценки температуры поверхности суши и океана, в том числе для определения природных пожаров. Прибор имеет полосу сканирования шириной 1400 км с пространственным разрешением 500 и 1000 м в разных каналах. На данный момент реализовано автоматическое получение, обработка и усвоение продуктов по температуре водной поверхности.

Доступ к информации спутников Sentinel реализуется на базе использования спутникового сервиса «Vega-Science» и целого ряда информационных систем, использующих возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг». При этом пользователям доступны не только исходные каналные данные, но и различные тематические информационные продукты (например, спектральные индексы и различные цветовые синтезы), как физически хранящиеся в архиве в виде заранее подготовленных файлов, так и динамически формируемые в режиме реального времени в момент запроса, а также широкий инструментарий для онлайн-обработки и анализа данных.

В результате разработки указанных технологий в настоящее время центр коллективного пользования (ЦКП) «ИКИ-Мониторинг» предоставляет доступ к анализу данных различных спутников Sentinel с глобальным покрытием и за длительный промежуток времени. Все данные доступны в режиме online, без предварительного заказа, находятся в территориально распределённом хранилище, но при этом предоставляются потребителям через единую точку входа совместно с возможностями их анализа и интерактивной обработки.

1.1.1.2 Развитие системы сбора данных программы EOS

Для обеспечения устойчивости и преемственности используемых в ЦКП «ИКИ-Мониторинг» технологий оценки состояния наземных экосистем, базирующихся на данных прибора MODIS на борту КА TERRA, AQUA, в 2020 году было реализовано получение и наполнение архивов первичными данными прибора VIIRS, установленного на борту КА Suomi NPP. VIIRS представляет собой радиометр, измеряющий излучение в ультрафиолетовом, видимом, коротковолновом и тепловом ИК-диапазонах для решения широкого спектра задач мониторинга, и является прямым наследником прибора MODIS. Прибор имеет полосу сканирования шириной 3060 км с пространственным разрешением 375 и 750 м в разных каналах. Для обеспечения преемственности с данными MODIS данные VIIRS VNP09 закругляются до разрешения 500–1000 м и поставляются в том же пространственном разбиении, что и данные MODIS MOD09.

На данный момент идёт наполнение архивов ЦКП «ИКИ-Мониторинг» данными VNP09 на всю доступную глубину и адаптация действующих технологий обработки данных.

1.1.2 Развитие подходов и систем дистанционного мониторинга природных и антропогенных различных объектов

В последние годы становится все более актуальной задача массового дистанционного мониторинга различных объектов. Решение данной задачи практически невозможно без использования максимально автоматизированных методов обработки и анализа спутниковой информации. Для решения данной задачи в ИКИ РАН в рамках ЦКП «ИКИ-Мониторинг» развивается унифицированная автоматизированная подсистема наблюдений за природными и антропогенными объектами, которую можно легко масштабировать на различные тематические задачи и интегрировать в любые информационные сервисы, разрабатываемые в ИКИ РАН и функционирующие по технологии GEOSMIS. С помощью этой подсистемы в автоматическом режиме осуществляется мониторинг объектов контроля на основе пополняющихся многолетних рядов спутниковых данных различного пространственного разрешения с использованием ресурсов ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Объекты контроля должны представлять собой произвольные полигоны, которые заводит эксперт, работающий в специализированном картографическом веб-интерфейсе, указывая период наблюдения — временное окно для поиска спутниковых сцен в архиве, по которым будет проводиться мониторинг, либо указывая постоянное наблюдение за объектом. Под мониторингом (аннотацией) понимается расчёт статистики внутри границ объектов по имеющимся в архивах сценам спутниковых данных. В качестве статистик рассчитываются многоканальные спектральные индексы (показатели) с необходимыми характеристиками: среднее значение, среднеквадратическое отклонение, площадь целевых пикселей и т.п.

Основными функциональными элементами подсистемы, которые представлены на рисунке 1.1.2.1, являются:

- база данных объектов контроля, включая данные о типе объекта (например «отвал»), атрибуты объекта, его контур, наблюдения по спутниковым данным, атрибуты наблюдений;
- библиотека доступа к базе данных объектов контроля и их наблюдений;
- база данных показателей, рассчитываемых в аннотации по спутниковым данным;
- библиотека доступа к базе данных показателей;
- веб-интерфейс, позволяющий работать с показателями, заводить новые, редактировать, удалять;
- систему постобработки (аннотацию) по спутниковым данным из распределённых архивов, включая блок формирования очередей обработки;

- картографический веб-интерфейс, позволяющий работать с объектами контроля, заводить новые и редактировать существующие, визуализировать значения показателей на карте;
- модуль анализа временных рядов значений показателей.

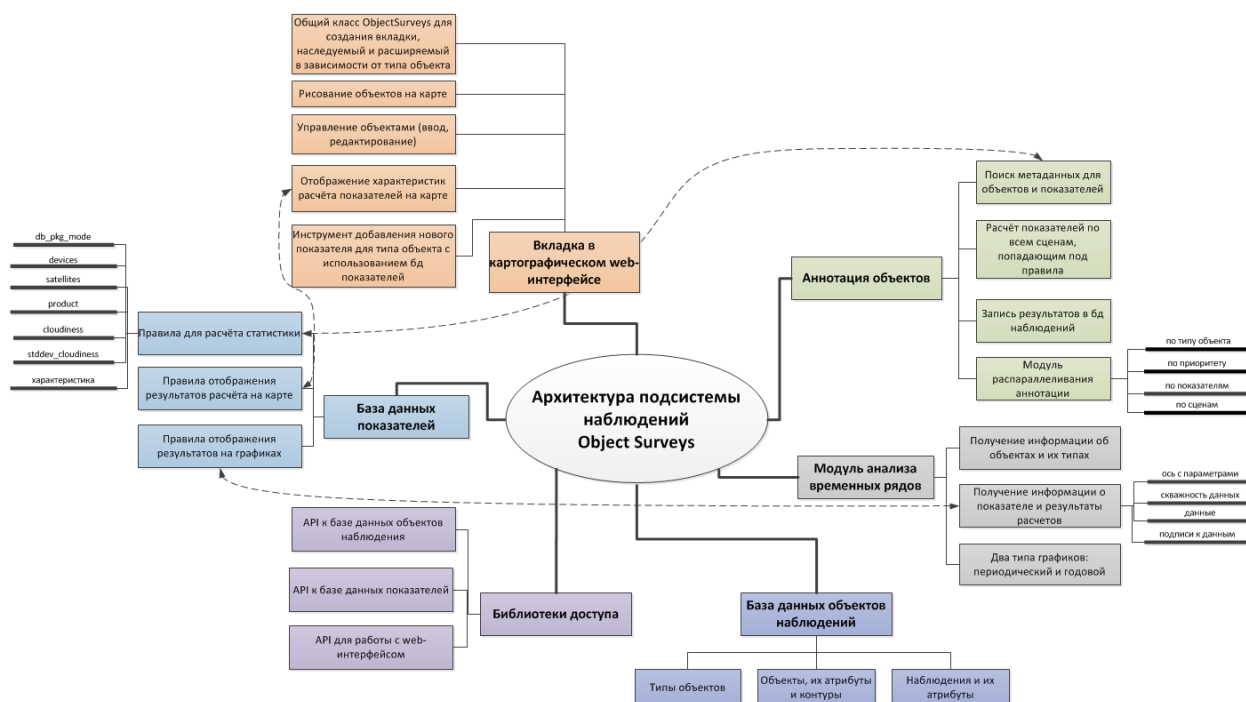


Рисунок 1.1.2.1 — Основные функциональные элементы подсистемы

Для создания подсистемы использовались различные возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг», а также технологий и программного обеспечения обработки, архивации и анализа спутниковых данных, разработанные в ИКИ РАН, в том числе:

- технология GEOSMIS — программный комплекс для построения интерфейсов работы с пространственной информацией в системах дистанционного мониторинга, включающий в себя картографический веб-сервис SMISWMS;
- программное обеспечение для ведения распределённых унифицированных архивов спутниковых данных (UNISAT);
- программное обеспечение для получения вычисляемых «виртуальных» информационных продуктов из больших распределённых архивов спутниковых данных (UnisatVirtualProducts);
- программный комплекс для ведения БД дистанционных наблюдений различных лесных объектов (ObjectsServeysSMIS_les);
- программный комплекс для создания систем для организации управления и контроля работоспособности распределённых систем сбора, обработки и распространения спутниковых данных (ControlSMIS);
- блок инструментов графического анализа рядов данных SmisCharts.

Базовый функционал подсистемы, а именно БД объектов контроля и их наблюдений поддерживает программный комплекс ObjectsServeysSMIS_les. Комплекс обеспечивает выполнение следующих функций: ввод и хранение объектов наблюдения, их атрибутов, ввод наблюдений объектов, в том числе их геометрического описания; отображение карт наблюдений объектов в картографических интерфейсах; поиск и представление данных в пользовательских интерфейсах.

В рамках подсистемы была, в том числе, разработана унифицированная схема описания показателей (спектральных индексов), обеспечивающая сквозную интеграцию данных о показателях в картографическом интерфейсе, инструменте графического анализа,

блоке аннотации. Она была разработана на основе специализированной БД показателей, имеющей гибкую структуру, которая позволяет для каждого показателя определять произвольный набор необходимых параметров.

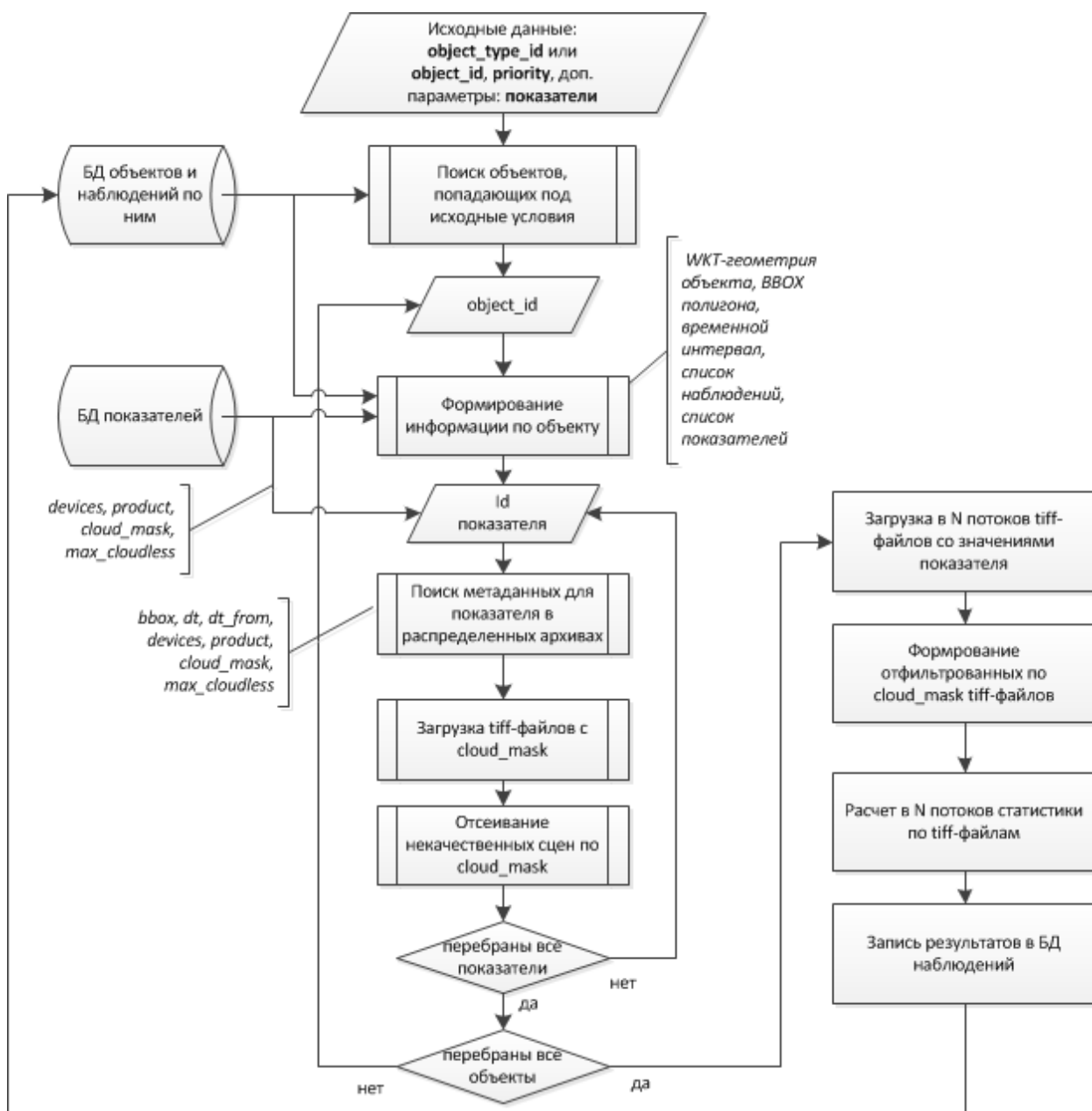


Рисунок 1.1.2.2 — Блок-схема сервиса аннотации

Для автоматического получения на основе различных спутниковых данных для различных объектов был реализован сервис аннотации объектов по спутниковым данным, блок-схема которого представлена на рисунок 1.1.2.2. Сервис аннотации работает в двух режимах: с высоким приоритетом, когда заводится новый объект (процесс на поиск новых объектов запускается ежеминутно); с низким приоритетом, когда рассчитывается статистика внутри уже существующих объектов по новым сценам, появившимся в архивах, либо, когда в БД заводятся новые показатели, рассчитываемые по тем тематическим продуктам или каналным данным, которые ещё не были посчитаны для объектов (процесс запускается ежедневно).

На вход процесса аннотации поступает информация о типе объектов и приоритете процесса, далее происходит поиск объектов, попадающих под заданные условия. Для указанного типа объектов запрашивается список необходимых для расчёта показателей,

далее по правилам, описанным в источниках данных показателей, формируются блоки запросов на поиск спутниковых сцен в распределённых архивах ЦКП ИКИ-Мониторинг с помощью программного обеспечения UNISAT. Для всех сцен спутниковых данных многопоточно загружаются маски облачности. Сцены, покрытые облачностью внутри объекта более чем на 50 процентов, отсеиваются. Далее в параллельном потоке загружаются tiff-файлы со значениями показателя или канальными данными по всем сценам, tiff-файлы фильтруются по маске облачности, рассчитывается статистика, значения записываются в БД объектов наблюдений.

Сбор статистики в автоматическом режиме внутри контура одного нового объекта по сценам спутниковых данных, доступных в распределённых архивах, занимает порядка нескольких минут.

Таже были разработаны схемы и программное обеспечение, позволяющие визуализировать и вести анализ данных по различным объектам как в картографических интерфейсах, так и в интерфейсах анализа временных рядов наблюдений.

В настоящее время созданная подсистема наблюдения объектов уже используется в проектах:

- мониторинг рек бассейна Амударьи (ИС EcoSatMS <http://suvo.geosmis.ru/>);
- мониторинга зон техногенных отходов и отвалов (ИС «Bera-Science» <http://sci-vega.ru/>).

1.1.3 Разработка методов верификации данных с помощью спутникового позиционирования на примере системы мониторинга рыболовства

В 2020 году продолжались поддержка и развитие отраслевой системы мониторинга водных биологических ресурсов, наблюдения и контроля за деятельностью промысловых судов (далее — ОСМ), в создании и последующем совершенствовании которой ИКИ РАН внёс существенный вклад.

В последний год силами ФГБУ ЦСМС, являющегося оператором ОСМ, был внедрён механизм сбора дополнительной информации, передаваемой капитанами судов рыбодобывающего флота в ОСМ. В частности, передаётся информация о начале и продолжительности промысловой операции, а также о средней глубине, на которой проводится эта промысловая операция.

В ИКИ РАН в 2020 году на базе вышеуказанной информации и ранее разработанных в институте алгоритмов автоматической классификации треков судов по спутниковым позиционным даны ОСМ развивались методы верификации отчётной информации.

Автоматическая классификация треков определила, что доля фрагментов треков, когда есть серьёзные сомнения в том, что судно осуществляло траление, по продолжительности составляет десятую часть от общей продолжительности промысловых операций, указанной в дополнительной информации судовых суточных донесений.

На последнем рисунке 1.1.3.1 приведён пример фрагмента трека, который был отнесён к классу «не тралит». Скорость судна VES3 кроме первой и четырёх последних точек трека близка к крейсерской. Траление на такой скорости не проводят. Перед этим фрагментом и после него визуально треки соответствуют движению при тралении. Ситуация очень характерна для многих судовых суточных донесений.

Были проведены сопоставления вышеуказанных дополнительных данных о глубине использования орудий промысла при проведении промысловой операции с данными спутникового позиционирования и линиями изобат. Для определения полигона, соответствующего определенной изобате, внутри которого находится координата судна во время проведения траления, использовались библиотеки Python shapefile и shapely. Расхождений между вычисленными глубинами и указанными в судовом суточном донесении на тестируемом фрагменте данных не обнаружено. Пример трека во время промысловой операции представлен на рисунке 1.1.3.2.

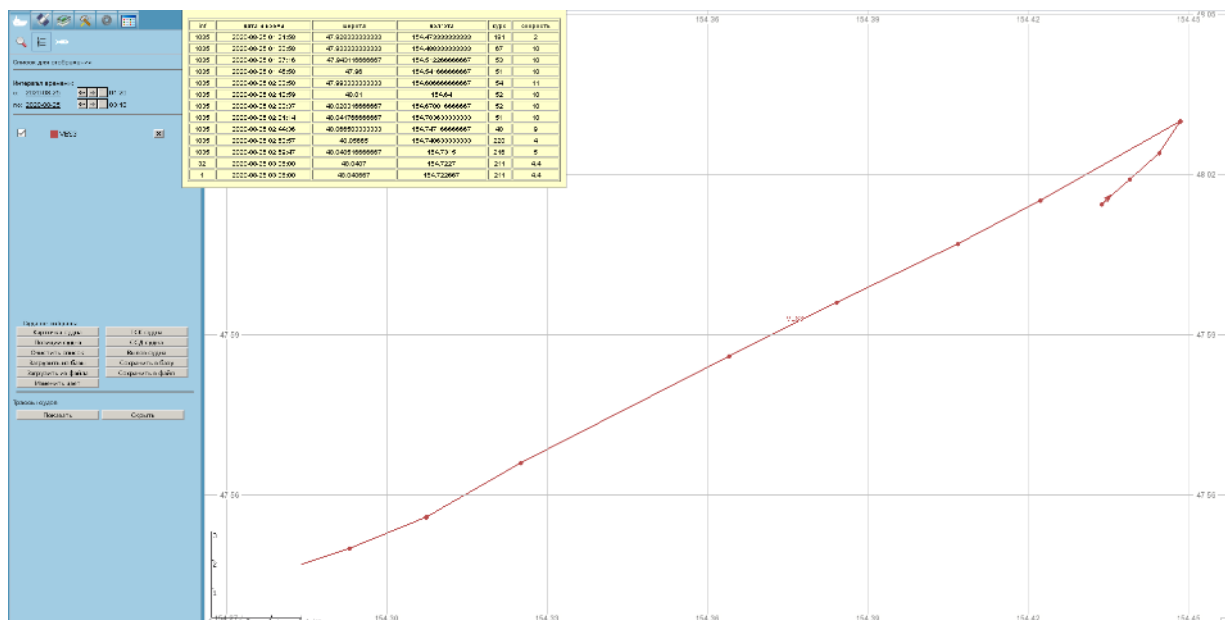


Рисунок 1.1.3.1 — Пример трека судна, который был отнесён к классу «не тралит»

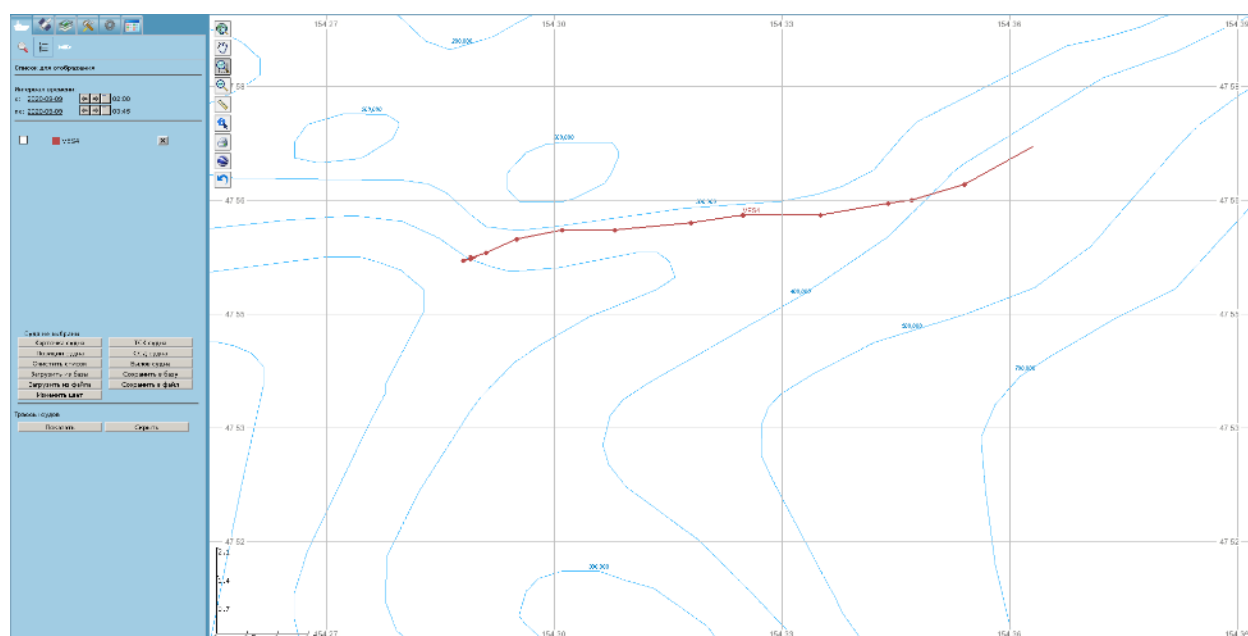


Рисунок 1.1.3.2 — Пример трека судна во время промысловой операции. В судовом суточном донесении при этой операции траления указана глубина 400 метров

Учитывая проведённый анализ, предлагается два варианта по отношению к ситуациям, когда в судовом суточном донесении указывается период проведения траления, включающий переходы с крейсерской скоростью между фрагментами трека с реальным тралением. Можно ввести дополнительный класс трека: «траление с переходами». Второй вариант - представляется более логичным предложить капитану в судовом суточном донесении указывать периоды реального траления.

1.1.4 Развитие инструментов графического анализа рядов данных в системе VolSatView

В рамках системы VolSatView реализована возможность графического анализа рядов данных наблюдений, включая временные ряды спектральной яркости по данным

спутниковых измерений, метеорологических данных, вертикальные профили температуры, пространственные профили различных характеристик.

В 2020 году было проведено обновление программного обеспечения системы графического анализа рядов данных. Оптимизированы процессы клиент-серверного взаимодействия, реализована возможность расчёта производных показателей на клиентской стороне при минимизации передаваемого через сеть трафика. Реализована возможность работы в двух режимах:

- временная шкала длится от начала до конца года, можно сравнивать данные разных лет;
- временная шкала длится от одного до другого выбранного пользователем момента времени и может иметь продолжительность как менее, так и более одного года (рисунок 1.1.4.1).

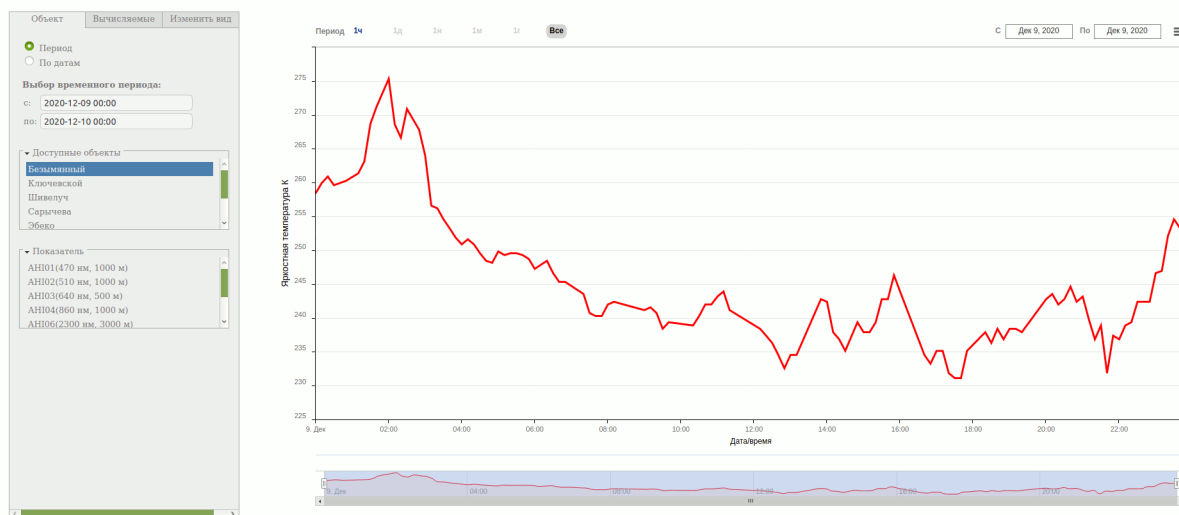


Рис. 1.1.4.1 — Временной ряд яркостной температуры вулкана Безымянный по данным спутника Himawari-8

Также была реализована возможность сравнительного анализа временных рядов яркостной температуры нескольких объектов наблюдения.

1.2 Создание и развитие специализированных информационных систем, ориентированных на исследование различных процессов и явлений, включая разработку методов использования данных ДЗЗ для их моделирования и прогнозирования

1.2.1 Развитие методов и инструментов распределённой работы с данными в интересах объединённой системы работы с данными НИЦ «Планета»

В 2020 году продолжались поддержка и развитие Объединённой системы работы с данными центров НИЦ «Планета», разработанной специалистами НИЦ «Планета» и ИКИ РАН и введённой в эксплуатацию в 2013 году. За время своего существования и развития система превратилась в сложный, комплексный инструмент работы с данными, позволяющий решать задачи гидрометеорологического мониторинга, мониторинга чрезвычайных ситуаций и многие другие сугубо за счёт ресурсов и инструментов обработки и анализа данных самой системы, доступных через веб-сервисы. На сегодняшний день система представляет собой распределённую, модульную веб-ГИС, совмещённую со сверхбольшими архивами данных ДЗЗ прямого доступа, обеспечивающую онлайн-сервисы данных для ЦКП «ИКИ-Мониторинг» и большого количества прикладных информационных систем, в том числе «ИСДМ-Рослесхоз», VolSatView, «Beta-Science» и

«Вега-PRO» и многих других, являясь одним из основных источников оперативной спутниковой информации в России.

За последний год активное развитие системы велось в следующих направлениях: расширение типов данных, доступных в рамках системы, в первую очередь отечественных, повышение производительности и отказоустойчивости системы за счёт обновления инфраструктуры, расширение состава инструментов обработки данных и, соответственно, спектра решаемых задач, существенная модернизация возможностей по подготовке статических и динамических отчётных материалов, в том числе на регулярной, автоматической основе, а также интеграция системы с действующими специализированными информационными системами НИЦ «Планета».

В 2020 году в рамках системы были реализованы средства работы с данными полной группировки отечественных геостационарных КА серии «Электро-Л» с точками стояния 76° в.д., 165° в.д. и 14,5° з.д., а также с данными глобального мониторинга на основе информации всей группировки. На текущий момент штатно функционируют и поставляют данные КА «Электро-Л» №2 и №3 с точками стояния 76° в.д. и 14,5° з.д. Также в рамках системы были проведены подготовительные работы по усвоению и обеспечению работы с данными перспективных высокоэллиптических КА серии «Арктика-М» для регулярного наблюдения арктических широт. Кроме того, была реализована и запущена технология потоковой обработки и интеграции в систему данных микроволновых зондировщиков МТВЗА, установленных на борту КА серии «Метеор-М». Пример результата интеграции данных МТВЗА и данных геостационарных КА приведён на рисунке 1.2.1.1.

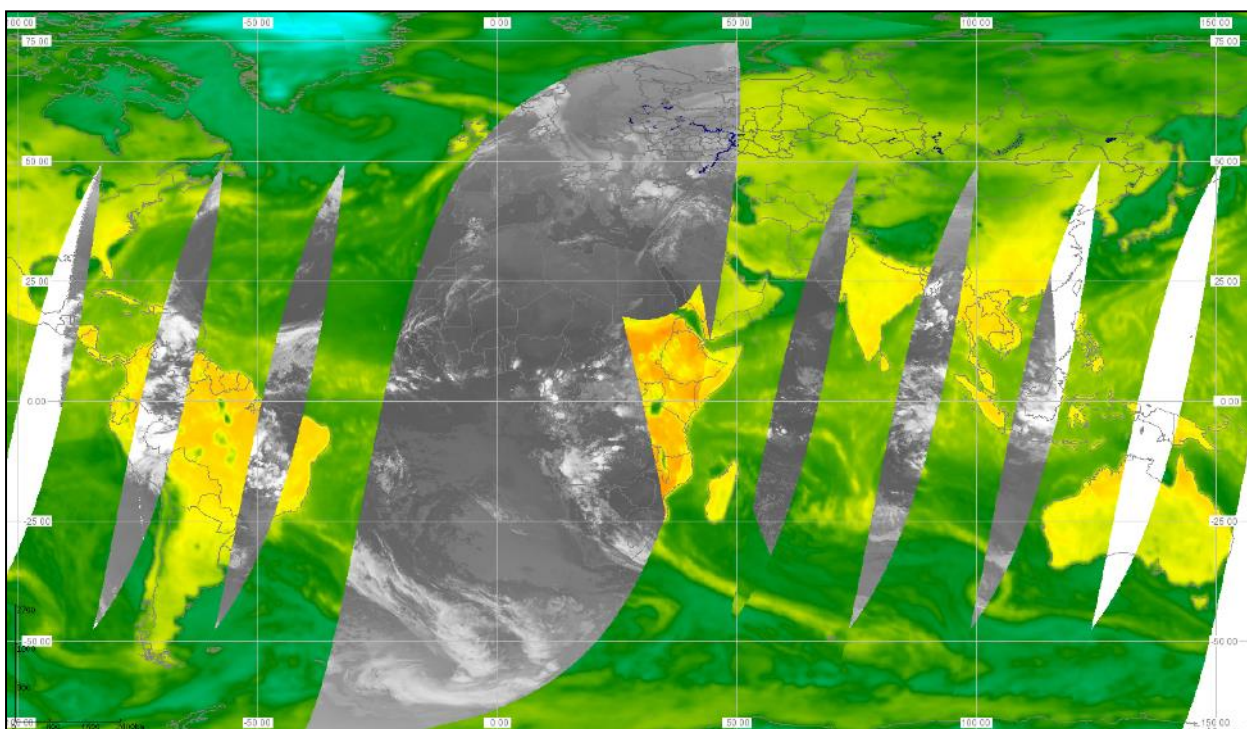


Рисунок 1.2.1.1 — Совмещение суточных данных прибора МТВЗА-ГЯ за 30.10.2020 и покрытия данными геостационарных КА

Были существенно доработаны и усовершенствованы средства публикации данных, как в виде статических карт, так и в виде динамических интерфейсов. В рамках доработок были существенно переработаны экспортируемые из картографического интерфейса статические карты, для них было модифицировано построение зарамочного оформления с добавлением динамической легенды и обзорной карты. Также в рамках доработок был существенно модифицирован механизм публикации данных в виде динамических интерфейсов SMISViewer. К нему была добавлена возможность создания дополнительных

векторных слоёв для выделения на данных объектов или областей интереса, а также пояснений и комментариев. Пример статической карты приведён на рисунке 1.2.2.2.

1.2.2 Развитие информационной системы See The Sea

Информационная система See the Se разработана в ИКИ РАН для проведения комплексного анализа данных спутникового дистанционного зондирования в интересах исследования Мирового океана. Основной целью спутникового сервиса STS является обеспечение исследователей возможностями доступа и инструментами анализа информации, полученной на основе данных спутниковых наблюдений (как оперативных, так и из накопленных архивов), для изучения различных процессов, происходящих в океане и атмосфере над ним.

В 2020 году в систему STS была добавлена возможность работы с данными натурных измерений, полученных приборами ADCP и CTD. Для этого была создана специальная база данных и реализован специальный интерфейс программирования приложений (API) для доступа к данным измерений. Это позволило:

- интегрировать в картографический интерфейс системы STS инструменты доступа к данным измерений;
- реализовать возможности ввода, редактирования и анализа данных натурных измерений в дополнительном таблично-графическом интерфейсе.

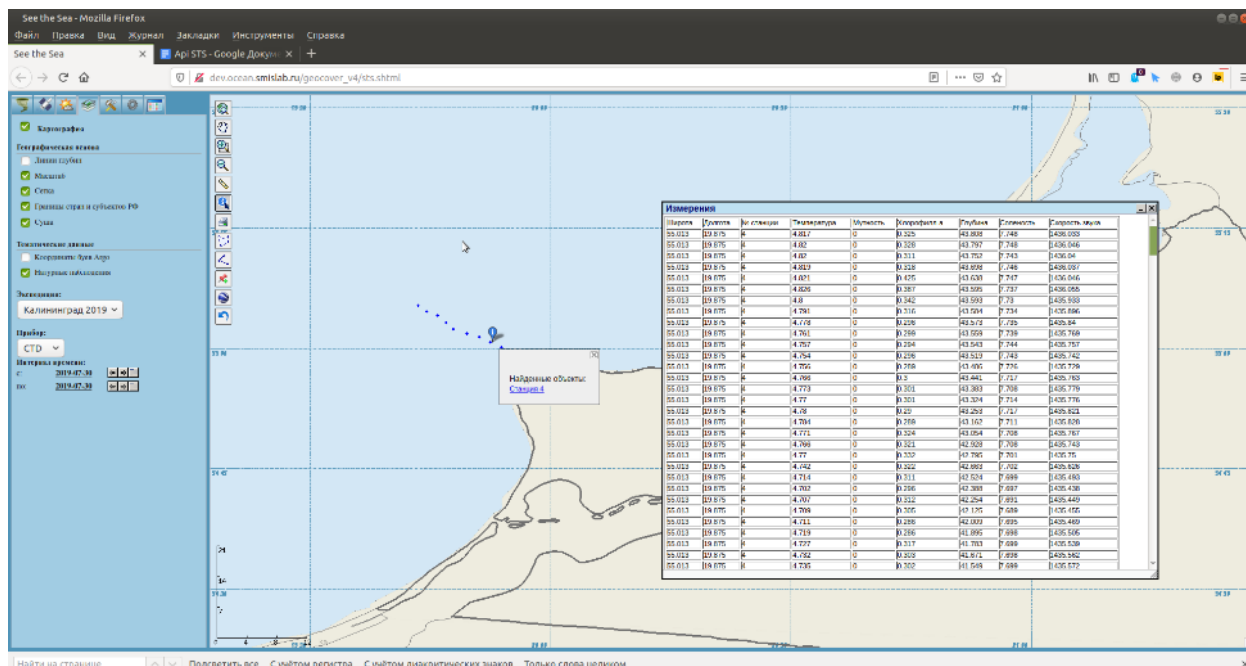


Рисунок 1.2.2.1 — Доступ к данным натурных измерений в картографическом интерфейсе STS

В картографическом интерфейсе стало возможным:

- выбрать интересующий прибор, данные одной из экспедиций, определенный диапазон дат;
- отобразить на карте точки, соответствующие месту измерений в определенное время;
- получить детальную информацию о сделанных измерениях (рисунок 1.2.2.1).

Таблично-графический интерфейс работы с данными натурных измерений позволяет:

- вводить в систему первичные данные, полученные с приборов;
- инициировать процесс автоматической предварительной обработки данных;

- редактировать данные;
- визуализировать данные в виде графиков (рисунок 1.2.2.2).

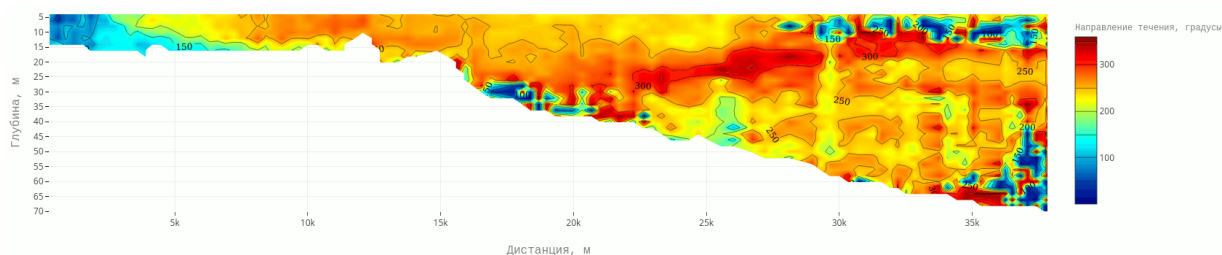


Рисунок 1.2.2.2. — График направления течения на разных глубинах по данным прибора ADCP

1.2.3 Разработка информационной системы дистанционного мониторинга бассейна реки Амударья и её притоков

Река Амударья в силу особенностей политических границ стран Центральной Азии является трансграничной и протекает по территории четырёх стран. Воды этой реки используются для орошения с/х угодий, обеспечения водой населения, в энергетическом секторе (ГЭС, водохранилища). В условиях водного дефицита важная задача — обеспечение объективного, оперативного и своевременного мониторинга русла Амударьи её притоков, а также водных объектов, расположенных на водотоке рек амударьинского бассейна. Спутниковые данные пространственного разрешения до 10 м позволяют решать задачи мониторинга и анализа гидрологической обстановки в межгодовом и межсезонном аспектах.

Для организации доступа к данным и работы с различными инструментами обработки спутниковой информации развивается и поддерживается информационная система EcoSatMS (<http://suvo.geosmis.ru>), функционирующая на базе ЦКП «ИКИ-Мониторинг». В 2020 году работы в области мониторинга водных ресурсов были сосредоточены на развитии технологии космических гидропостов (КГП). Такой гидропост представляет собой произвольный полигон в базе данных с временными границами для поиска спутниковых сцен в долговременных архивах. Оперативный расчёт площади водного зеркала производится вычислением индекса MNDWI. Исследования велись по следующим направлениям:

- восстановление суточных стоков на заданном расстоянии от измерительной станции Керки (Туркменистан) с помощью модели линейной регрессии;
- построение моделей для оценки влияния различных факторов на работу КГП различной формы, площади и ориентации;
- разработка модуля для расчёта гидрометрических показателей водных объектов с использованием ЦМР ASTER v3.

Интегрированная в систему EcoSatMS методика КГП имеет большой потенциал и выступает основой для создания новых модулей обработки данных. Для работы по каждому из перечисленных направлений был создан (или адаптирован) инструмент, предоставляющий интерактивный доступ к результатам обработки. На рисунке 1.2.3.1 изображена процедура организации нового КГП на русле реки. Каждый полигон может быть связан с наземной станцией и/или другим полигоном, имеющимся в базе данных.

Использование временных рядов суточных стоков за несколько лет позволило исследовать возможность восстановления наземного параметра на заданном удалении от физической станции. Последовательная калибровка полигонов (КГП) на основе линейной модели образует новую сущность, получившую название «сеть космических гидропостов». Применение таких сетей с использованием более сложных моделей делает их более устойчивыми к изменчивости рельефа и структуры русла в межгодовом аспекте и

ирригационной системы реки (совокупность каналов и отводов из основного русла). Также по результатам проведённых экспериментов по определению факторов, влияющих на работу КГП, были сформированы правила установки полигонов на русле реки. На рисунке 1.2.3.2 представлена совокупность из 11 групп по 5 КГП с разной геометрией. В каждой из таких групп был найден наиболее подходящий по рассчитанным статистикам полигон для формирования сети. Были сформированы правила, следуя которым можно достичь лучшего качества работы космического гидропоста.



Рисунок 1.2.3.1 — Добавление КГП в системе EcoSatMS



Рисунок 1.2.3.2 — Группы космических гидропостов, заведённые на определённом расстоянии от станции Керки в системе EcoSatMS

Имеющиеся наземные измерения и получаемые с КГП наблюдения необходимо автоматически обрабатывать и предоставлять пользователю отчёты в виде интерактивных диаграмм с рассчитанными целевыми статистиками. Для таких целей был разработан

инструмент совместного анализа данных («Анализ рядов наблюдений»). Алгоритм последовательной калибровки подразумевает сохранение коэффициентов модели и ссылки на предыдущий объект для последующего восстановления статистики на сети КГП. Модуль анализа совместного анализа временных рядов был написан на языке Python 3, в качестве вспомогательной библиотеки для поддержки интерактивной работы с диаграммами использована Plotly (<https://pypi.org/project/plotly/>). На рисунке 1.2.3.3 показан результат восстановления суточного стока на некотором расстоянии от Керки в 2018 году с помощью разработанного инструмента.

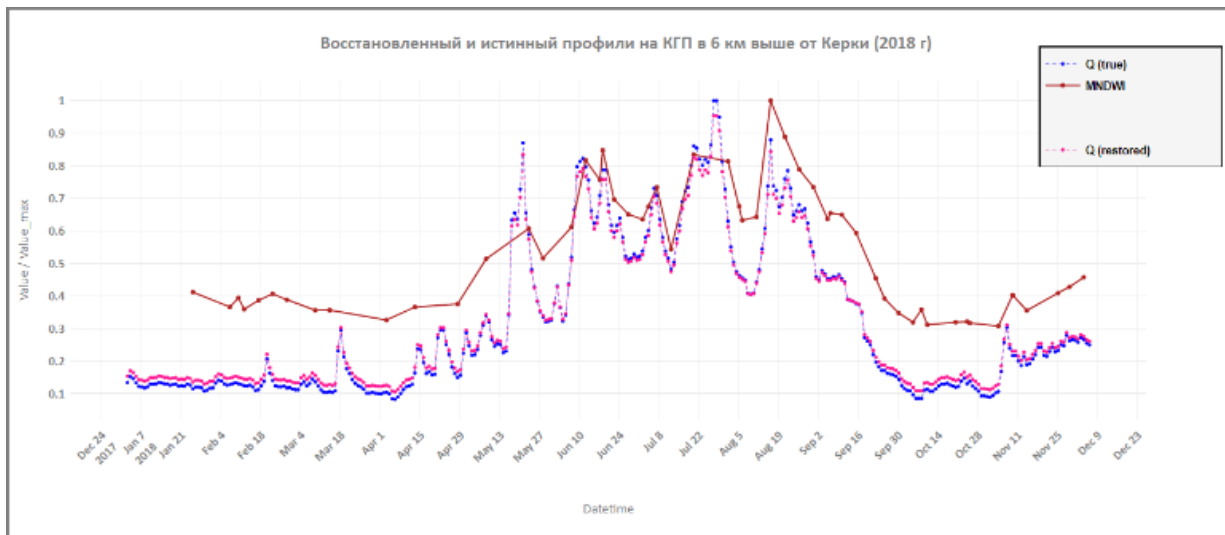


Рисунок 1.2.3.3 — Результат восстановления кривой суточных стоков в 2018 году в 6 км выше от Керки (розовая кривая — восстановленные, синяя — истинные нормированные значения)

Кроме того, текущая модификация модуля анализа позволяет выявить неустойчивость моделей различного порядка (рисунок 1.2.3.4). В данном контексте использование полиномиальной модели третьего порядка помогает заметить разницу гидрологического режима участка реки в разные года, что говорит о необходимости доработки моделей и привлечения большего числа параметров.

Наряду с развитием методики КГП в сервис EcoSatMS был внедрён инструмент «Уровень воды на рельефе» (реализация на языке Python 3 с использованием вспомогательной библиотеки Plotly), предназначенный для расчёта гидрометрических характеристик водных объектов. Съёмка ЦМР ASTER была проведена в 2011 году, следовательно, для ряда водных объектов, которые сформировались позднее, такая модель рельефа фактически является батиметрической картой. При недоступных батиметрических картах объекта в сочетании с технологией КГП инструмент может дать оперативную информацию на основе исключительно спутниковых наблюдений. Высота водного столба может быть рассчитана с помощью разностного нормализованного водного индекса (MNDWI), полученного по оптическому изображению сканирующих систем MSI (Sentinel-2A, -2B), OLI, TIRS (Landsat-8), ETM+ (Landsat-7), TM (Landsat-4, -5) в пределах границ некоторого КГП.

Модуль «Уровень воды на рельефе» решает следующие задачи:

- определение высоты водного столба — максимальная высота рельефа, покрытая водой;
- определение объёма воды на объекте (в каждой точке водного зеркала можно получить глубину как разность уровня воды и значения ЦМР в точке);
- восстановления динамики объёма;
- оценка последствий затопления при ЧС;
- определение глубины в заданной точке (при наличии значений высот по ASTER)

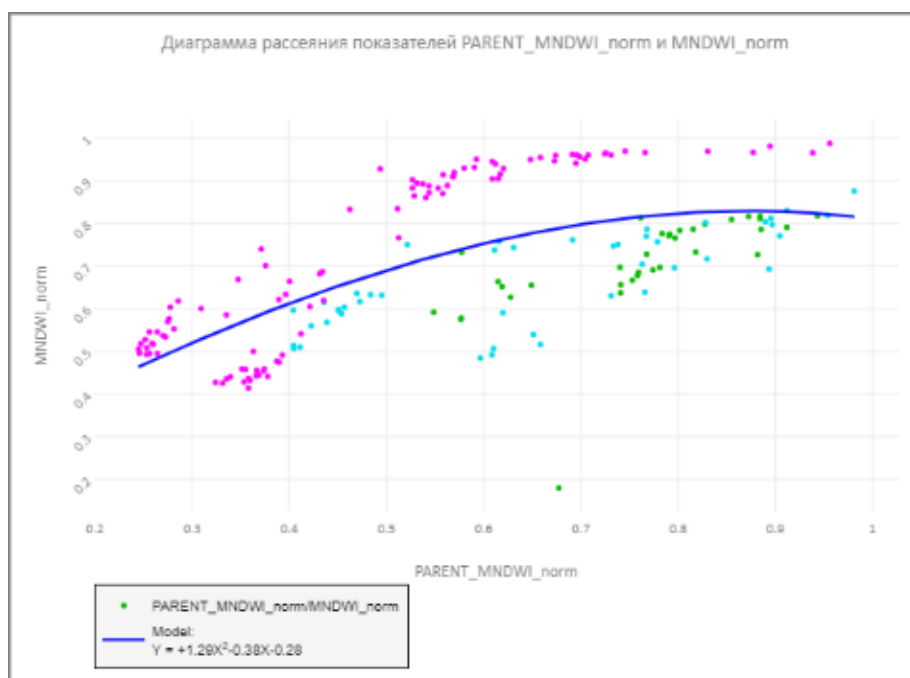


Рисунок 1.2.3.4 — Диаграмма разброса нормированных данных на 54 км выше от физической станции. Разными цветами обозначены разные года

Методика была успешно использована при оценке последствий прорыва Сардобинского водохранилища в Узбекистане 1 мая 2020 года. Заполнение водохранилища началось в 2014 г., что позволило восстановить динамику объёма и оценить потери водных запасов в результате разрушения одной из стен дамбы. По результатам исследований были оценены *разность высот водного столба, потеря объёма и глубина объекта* до и после прорыва. На рисунке 1.2.3.5 показан пример восстановления трёхмерного представления Сардобинского водохранилища после ЧС.

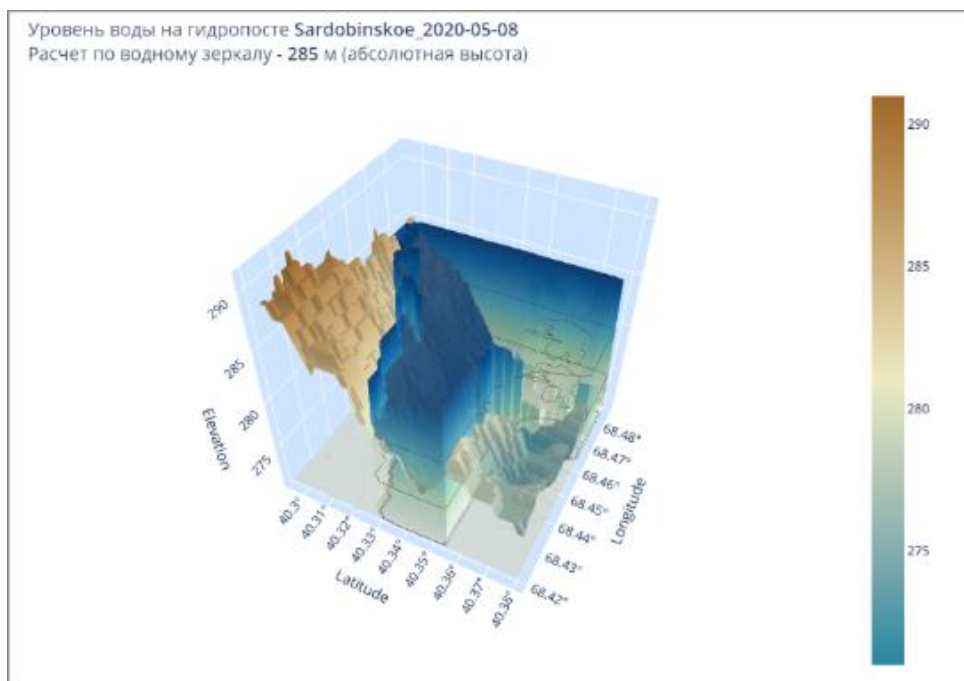


Рисунок 1.2.3.5 — Трёхмерное представление Сардобинского водохранилища после прорыва 1 мая 2020 года (модуль системы EcoSatMS)

В настоящее время ведутся работы по исследованию возможностей использования радиометрических данных спутника Sentinel-1A, -1B, автоматизации процесса формирования сетей КГП в сервисе ECoSatMS, а также внедрения различных моделей для повышения качества работы таких сетей.

1.2.4 Анализ распространения и ликвидации загрязнений, возникших в результате аварии на ТЭЦ-3 города Норильска 29.05.2020

29 мая 2020 года приблизительно в 12:45 по местному времени (~5:45 UTC) на ТЭЦ-3 Норильска (рисунок 1.2.4.1) произошла авария, в результате которой утечке из повреждённого резервуара подверглось ~20 тыс. м³ (~17 тыс т) дизельного топлива. В результате был загрязнён грунт, близлежащие водотоки (в частности, в реки Далдыкан и Амбарная) и водоёмы.



Рисунок 1.2.4.1 — Район аварии. Розовая точка — расположение аварийного нефтехранилища, красная — участок р. Амбарной, на котором по спутниковым данным PlanetScore зафиксировано максимальное приближение пятна к оз. Пясино

За развитием сложившейся ситуации по данным спутниковых наблюдений следили специалисты Института космических исследований РАН и Института географии РАН (ИГ РАН). В работе использовалась система «Vega-Science» (<http://sci-vega.ru/>), входящая в состав Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг», а также сервис Planet Explorer (<https://www.planet.com/explorer/>).

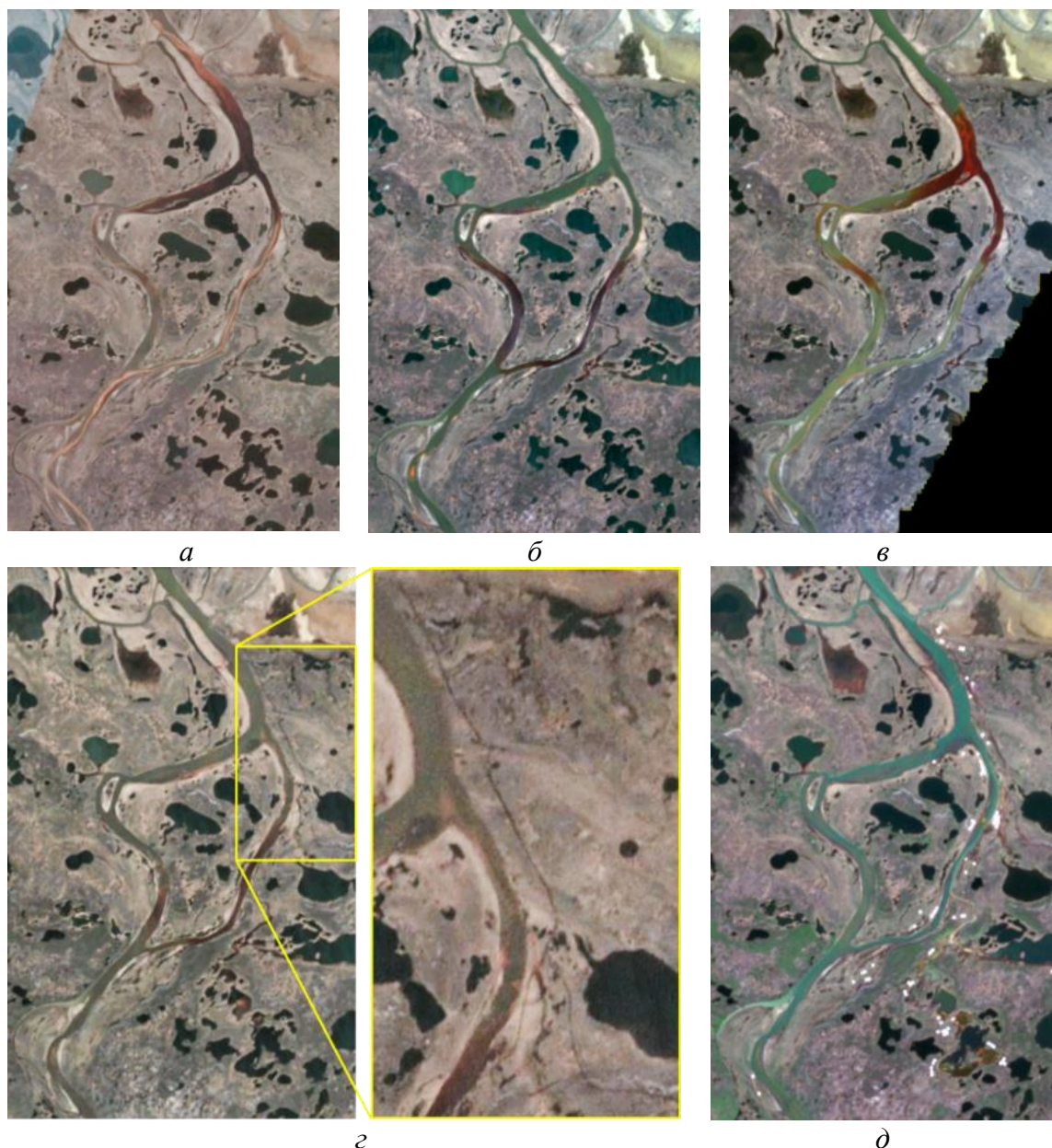


Рисунок 1.2.4.2 — Район аварии на разновременных спутниковых изображениях:
а — PlanetScope, 30.05.2020 (05:30 UTC); *б* — Sentinel-2, 31.05.2020 (06:09 UTC);
в — Sentinel-2, 01.06.2020 (06:29 UTC); *г* — PlanetScope, 04.06.2020 (05:31 UTC);
д — Sentinel-2, 13.06.2020 (06:20 UTC)

Самые ранние данные дистанционного зондирования этой территории после возникновения аварии получены со спутников группировки PlanetScope 30 мая в 01:46 и 05:30 UTC (рисунок 1.2.4.2*а*). Важно отметить, что ликвидация последствий обсуждаемой аварии началась только 31 мая – 1 июня, и полученные изображения PlanetScope иллюстрируют беспрепятственное распространение нефтепродуктов по рекам Далдыкан и Амбарная. На основе полученных данных сделан вывод, что менее, чем за сутки пятно загрязнения преодолело путь в 26,5 км. Однако на полученном на следующей день изображении Sentinel-2 можно заметить, что видимая часть пятна переместилась выше по течению р. Амбарной. Кроме того, видно, что загрязнённой оказалась одна из протоков, соединяющих р. Амбарную с озером, расположенным восточнее неё (рисунок 1.2.4.2*б*). Выявлено, что перемещению пятна вверх по течению способствовали метеорологические условия: между съёмками PlanetScope 31 мая в 01:46 UTC и Sentinel-2 31 мая в 06:09 UTC над территорией дул ветер преимущественно северного направления, скорость которого постоянно увеличивалась до 10 м/с (по данным метеостанций Норильска и аэропорта

им. Н.Н. Урванцева, <https://rp5.ru/>). 1 июня пятно вновь начало спускаться вниз по течению, однако, на момент съёмки оно уже было остановлено боновыми заграждениями (рисунок 1.2.4.2в). 4 июня к востоку от реки Амбарной начали прослеживаться следы движения транспорта (рисунок 1.2.4.2г), ещё не наблюдавшиеся на изображении от 1 июня. Появление первых ёмкостей для сбора загрязнённого грунта и топливно-водной смеси восточнее р. Амбарной зафиксировано на изображениях SkySat от 5 июня, 08:23 UTC. С тех пор их количество постоянно росло, и в середине июня их насчитывалось уже более 90, после чего активного роста их количества не наблюдалось. Преимущественно ёмкости были размещены на участке, изображённом на рисунке 1.2.4.2д, некоторое их количество — выше по течению р. Амбарной и в районе ТЭЦ-3.

В первой половине августа на спутниковых изображениях зафиксировано перемещение части ёмкостей в район хвостохранилища «Лебяжье», что позволило сделать вывод о завершении мероприятий по сбору загрязнений (рисунок 1.2.4.3). Процесс перемещения был завершён в начале сентября.

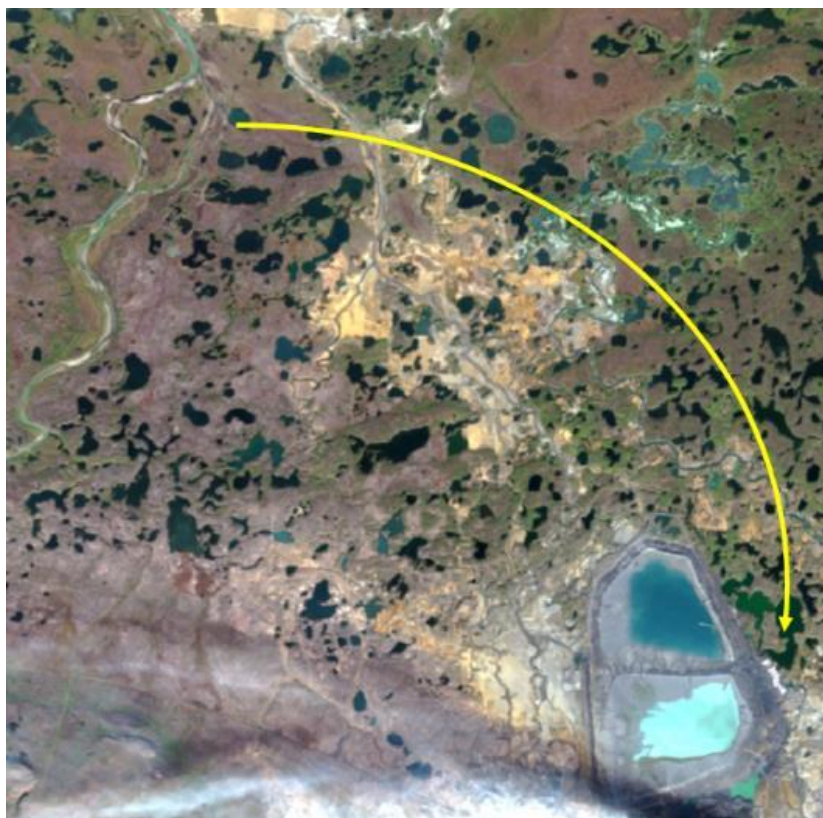


Рисунок 1.2.4.3 — Перемещение ёмкостей с собранными загрязнениями в район хвостохранилища «Лебяжье» на изображении Sentinel-2, 06.09.2020

Кроме наблюдения за реками, в которые попали нефтепродукты, проведён детальный анализ спутниковых данных оптического и радиоволнового диапазонов, полученных над акваторией оз. Пясино, который не выявил проявлений наличия нефтепродуктов на поверхности озера.

Анализ разновременных спутниковых данных, полученных по территории, на которой произошла авария, позволил сделать вывод, что негативно повлиять на развитие ситуации с распространением загрязнений и, следовательно, ликвидацию последствий аварии могли бы сгонно-нагонные явления, приводящие к достаточно большой динамичности положения кромки воды на берегах оз. Пясино (рисунок 1.2.4.4). В случае сильного нагона в первые сутки после аварии пятно загрязнения могло бы беспрепятственно попасть в оз. Пясино.

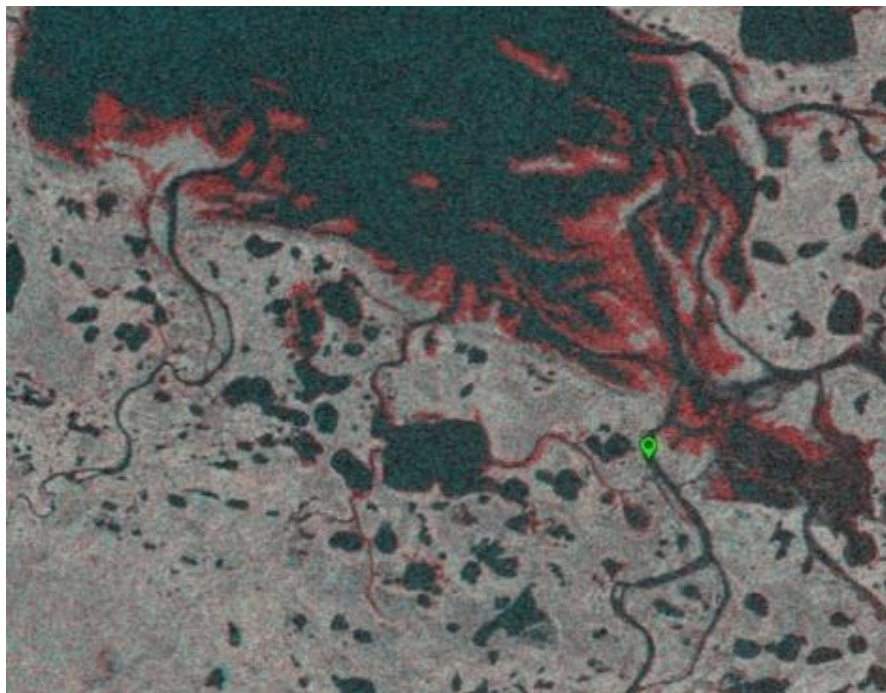
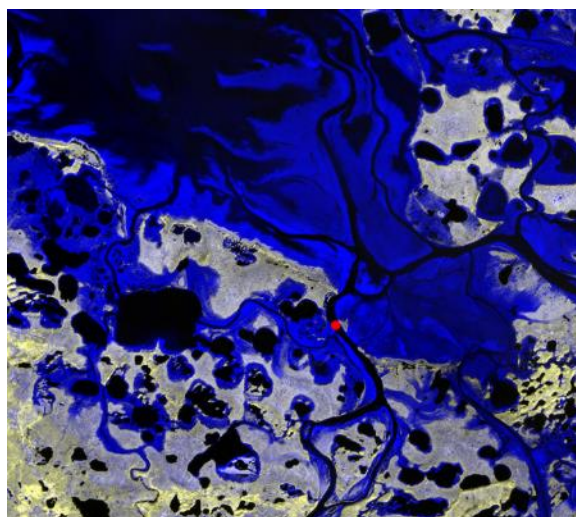
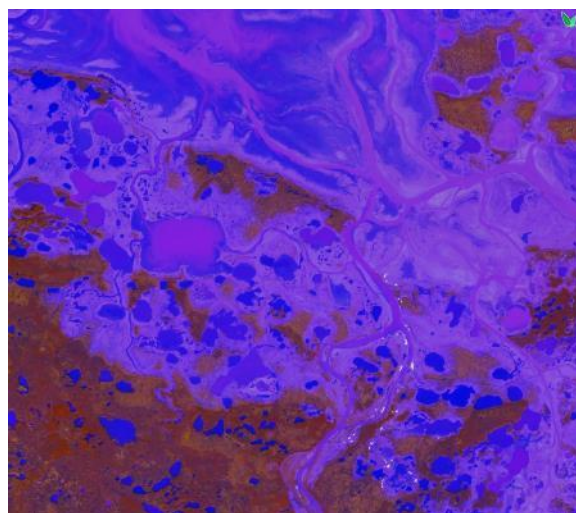


Рисунок 1.2.4.4 — Многовременное цветосинтезированное изображение Sentinel-1: R — 09.06.2020# G и B — 07.06.2020, поляризация ВГ. Зелёной точкой обозначен участок реки Амбарной, до которого, согласно данным PlanetScore, 30.05.2020 распространилось пятно загрязнения

Анализ спутниковых данных прошлых лет показал также, что исследуемая территория часто сильно затапливается во время половодья (рисунок 1.2.4.5). В случае, если в 2020 году здесь наблюдалось бы сходное по своим масштабам половодье, пятно загрязнения также могло бы беспрепятственно проникнуть в оз. Пясино.



а



б

Рисунок 1.2.4.5 — Многовременные цветосинтезированные изображения, сформированные на основе данных Sentinel-2, иллюстрирующие затопление территории во время половодья: *а* — в 2018 году; *б* — в 2019 году. Затопленные участки отображены сине-фиолетовыми оттенками

В целом по результатам проведённого анализа сделан вывод, что существенная часть поверхностных загрязнений, попавших в реки Далдыкан и Амбарную, во многом благодаря сложившейся гидрометеорологической обстановке была локализована в русле

р. Амбарной. Это позволило провести сбор загрязнений и препятствовало их масштабному попаданию в оз. Пясино. При этом данные спутниковых наблюдений не дают однозначный ответ на вопрос попадания в озеро растворенных в воде загрязнений, в связи с чем отмечается важность проведения наземных обследований рассматриваемой местности.

1.3 Обеспечение работы и развития ЦКП «ИКИ-Мониторинг» для решения задач изучения и мониторинга природных и антропогенных процессов, в том числе, разработка подходов и методов интеграции различных информационных ресурсов для решения междисциплинарных задач

1.3.1 Текущие задачи ЦКП и их актуальность

В последние десятилетия наблюдается стремительное развитие спутниковых систем дистанционного зондирования Земли. При этом фактически наблюдается взрывной рост объемов спутниковых данных, появляются новые более совершенные приборы. Расширяется область применения данных дистанционного зондирования Земли, которые в настоящее время широко используются для решения самых разных исследовательских и прикладных задач, связанных с мониторингом природной среды и антропогенных объектов. Все это, в свою очередь, приводит к существенному возрастанию требований, предъявляемых к системам, обеспечивающим работу со спутниковой информацией.

Сложившаяся ситуация потребовала разработки принципиально новых подходов и методов организации работы со спутниковыми данными, которые должны обеспечить эффективную работу с большими объемами постоянно обновляющейся информации. Создание таких подходов и методов сегодня привело фактически к разработке новых технологий построения информационных систем, ориентированных на организацию эффективной работы со спутниковыми данными для решения различных научных и прикладных задач. Такие технологии сегодня позволяют не только обеспечить пользователям доступ к интересующим их спутниковым данным, но и предоставить им разнообразные инструменты и сервисы для их обработки и анализа на базе использования высокопроизводительных вычислительных ресурсов коллективного пользования. Это позволяет при реализации различных научных и прикладных проектов во многих случаях избежать необходимости создания дорогостоящих программно-аппаратных комплексов для хранения, обработки и анализа информации и существенно понижает расходы как на создание, так и на эксплуатацию специализированных информационных систем дистанционного мониторинга.

Именно на базе таких подходов и технологий в 2012 году был создан центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа данных спутниковых наблюдений ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды «ЦКП ИКИ-Мониторинг» (<http://ckp.geosmis.ru/>). Основной целью создания ЦКП было развитие принципиально новой инфраструктуры для работы с данными ДЗЗ, предназначенной для решения различных научных и прикладных задач и обеспечивающей не только доступ к многолетним постоянно пополняющимся архивам спутниковых данных, но и возможность их обработки и анализа.

Со времени создания центра коллективного пользования актуальность описанного выше подхода, безусловно, только возросла. На текущий момент основными задачами ЦКП «ИКИ-Мониторинг» являются дальнейшее совершенствование технологий работы со спутниковыми данными в интересах самых различных научных и прикладных проектов, включая междисциплинарные, и предоставление пользователям доступа к постоянно растущим архивам спутниковых данных с использованием постоянно расширяющегося набора инструментов для их обработки и анализа.

1.3.2 Структура и технические возможности ЦКП и их развитие в 2020 году

ЦКП «ИКИ-Мониторинг» построен на основе использования технологий и базового программного обеспечения, разработанных в отделе «Технологии спутникового мониторинга» ИКИ РАН (<http://smiswww.iki.rssi.ru/>). Одним из важнейших преимуществ используемых технологий является практически полная автоматизация всех процессов по сбору, архивации, обработке и предоставлению пользователям спутниковым данных. За решение основных технических задач отвечают представленные ниже программные подсистемы.

Подсистема сбора данных предназначена для получения из различных источников как исходных спутниковых данных, так и различных информационных продуктов, полученных на основе их обработки, а также предварительной подготовки данных для архивации. Основным достоинством реализованной подсистемы является полная автоматизация процессов получения и предварительной обработки спутниковых данных.

Подсистема архивации данных отвечает за архивацию спутниковых данных и продуктов, полученных на основе их обработки, а также за предоставление доступа к метаданным и данным в архивах на уровне программных интерфейсов. Работа с архивами ЦКП «ИКИ-Мониторинг» реализована на основе использования унифицированной технологии ведения сверхбольших распределённых архивов спутниковых данных UNISAT. Ключевыми её преимуществами являются реализация механизма «виртуальных информационных продуктов», т.е. продуктов, которые динамически в режиме реального времени формируются по запросу пользователя на основе обработки имеющейся в архивах информации, а также гибкая поддержка инструментов для удалённого анализа и обработки данных.

Подсистема обработки данных предназначена для проведения потоковой обработки поступающих в архивы новых данных, а также для построения различных информационных продуктов, получаемых на основе обработки уже имеющихся в архивах данных. Программная реализация основана на использовании разработанной в ИКИ РАН технологии и соответствующего ей программного обеспечения, функционал которого постоянно расширяется добавлением модулей, отвечающих за новые типы обработки. Для эффективного управления работой многих десятков серверов обработки данных, входящих в состав программно-аппаратного комплекса ЦКП «ИКИ-Мониторинг» была разработана и внедрена технология организации распределённой многопоточковой обработки спутниковых данных.

Подсистема обеспечения доступа к данным реализует три основных функциональных блока:

- спутниковый информационный сервис «Bera-Science» (<http://sci-vega.ru/>), обеспечивающий для удалённых пользователей интерактивный доступ к архивам данных ЦКП «ИКИ-Мониторинг», а также проведение их обработки и анализа;
- программные интерфейсы для доступа к данным из тематических информационных систем;
- программный шлюз, позволяющий предоставлять доступ к данным, физически располагаемым во внешних архивах спутниковых данных.

Для построения многофункциональных картографических веб-интерфейсов используется разработанная в ИКИ РАН технология GeoSmis. Она предназначена для создания картографических веб-интерфейсов, обеспечивающих доступ к сверхбольшим распределённым архивам спутниковых данных, а также к инструментам для их анализа и обработки. Для получения интерактивных инструментов анализа данных, таких как динамические отчётные формы, гистограммы и графики, используются также возможности BI-технологий (Business intelligence).

Подсистема управления и контроля предназначена для обеспечения бесперебойного функционирования центра коллективного пользования, включая различные территориально распределённые блоки, входящие в его состав. Она, в частности,

позволяет автоматически детектировать сбои и неполадки в работе различных компонент программно-аппаратного комплекса ЦКП «ИКИ-Мониторинг» и эффективно отслеживать процесс их устранения. Для интеграции всех программных инструментов подсистемы была разработана специализированная система документирования и контроля проектов (СДКП).

В работе комплекса активно используется различное свободно-распространяемое программное обеспечение. В частности, в качестве СУБД используется MySQL или MariaDB, а в качестве HTTP-сервера — Apache, а для обработки спутниковых изображений активно применяются такие программные пакеты, как GDAL/OGR, GRASS GIS, Proj, Imager, а также специализированные пакеты для обработки спутниковых данных — SeaDAS, SNAP и др.

В 2020 году были продолжены работы по совершенствованию используемых нами для задач ведения долговременных архивов ЦКП «ИКИ-Мониторинг» технологий и программного обеспечения. В частности, была достигнута более высокая степень отказоустойчивости и автоматизации процедур поддержки функционирования распределённого файлового хранилища, что особенно актуально в виду постоянно растущих объёмов поступающих в архивы данных. Также проводились работы по совершенствованию программной реализации используемой для этих целей технологии UNISAT.

Функционирование ЦКП «ИКИ-Мониторинг» в настоящее время обеспечивает сложный программно-аппаратный комплекс, состоящий более чем из 90 серверов различного назначения, работающих под управлением операционных систем UNIX и Windows. При этом для хранения файлов спутниковых данных используется 27 UNIX серверов и 4 специализированные системы хранения (NAS), а для обработки спутниковых данных, включая динамическое формирование требуемых для интерфейсов информационных продуктов — 46 Windows серверов и 20 UNIX серверов. Остальной парк серверов функционирует под операционной системой UNIX и обеспечивает решение задач по сбору, архивации, доступу к данным, управлению процессами обработки и обеспечению бесперебойной работы комплекса.

В 2020 году было введено в строй 10 серверов различного назначения, а суммарная дисковая ёмкость, используемая для хранения данных, возросла примерно на 0,6 петабайта и настоящее время превышает 4 петабайта.

1.3.3 Архивы спутниковых данных и их наполнение в 2020 году

В настоящее время архивы ЦКП «ИКИ-Мониторинг» содержат данные более 40 различных приборов наблюдения, получаемых с более чем 50 российских и зарубежных спутников ДЗЗ. Постоянно расширяется зона интересов, по которой в центре осуществляется сбор и архивация данных, которая по большей части зависит от интересов проектов, использующих возможности центра. Благодаря сотрудничеству ИКИ РАН и «НИЦ «Планета» пользователи центра имеют возможность работы с глобальными покрытиями данных, получаемых некоторыми российскими системами наблюдений. Кроме этого, также реализован доступ к некоторым из данных, содержащихся в архивах ЕТРИС ДЗЗ. Область покрытия данными спутников Landsat и Sentinel, имеющимися в архивах центра, в настоящее время составляет около 30 % площади поверхности земли. В эту область входит вся Северная Евразия, включая арктические территории, приграничные моря России, а также ряд регионов в Африке, Азии, Северной и Южной Америке. Существенно, что в архивах центра в настоящее время накоплены достаточно длинные ряды данных. Например, архивы данных спутников серии Landsat начинаются с марта 1984 года.

В 2020 году в архивы ЦКП «ИКИ-Мониторинг» поступило более 1,2 Пбайт новых спутниковых данных. Было реализовано поступление данных VNP09 прибора VIIRS, данных по температуре поверхности океана КА серии Sentinel-3, а также различных композитных продуктов по атмосфере и поверхности суши. С российского спутника

гидрометеорологического обеспечения «Метеор-М» № 2-2 в этом году в архивы стали поступать данные прибора МТВЗА.

В настоящее время суммарный объем архивов спутниковых данных, доступных пользователям ЦКП «ИКИ-Мониторинг», превысил 4 петабайта, а ежедневно в архивы поступает около 3 Тбайт новых данных. Информация о составе архивов спутниковых данных, доступных пользователям ЦКП «ИКИ-Мониторинг», по состоянию на 04.12.2020 приведена в таблицах 1.3.3.1 и 1.3.3.2. Актуальная информация о наличии данных в архивах может быть получена по ссылке <http://ckp.geosmis.ru/default.aspx?page=6>. Все вышеупомянутые данные доступны в режиме непосредственного доступа в информационной системе «Вега-Science» (sci-vega.ru). Также в рамках функционирования ЦКП «ИКИ-Мониторинг» ведутся различные архивы промежуточных спутниковых данных, используемых для формирования доступных пользователям информационных продуктов.

В архивах ЦКП «ИКИ-Мониторинг» также содержатся метеоданные по всему земному шару в формате NCEP, получаемые из Национального центра атмосферных исследований NCAR (<https://ncar.ucar.edu/>) с 2000 года по настоящее время. В состав метеоданных входят данные реанализа на регулярной сетке с шагом 0,5° (ds093.0/ds094.0) и данные прогноза на регулярной сетке с шагом 1° (ds335.0). В 2019 году было реализовано поступление в архивы данных прогнозов погоды NCEP с пространственным разрешением 0,25° и временным разрешением 3 ч (ds084.1).

Таблица 1.3.3.1 — Статистика наличия данных в архивах ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

№	Прибор	Спутник	Диапазон дат		Кол-во	Размер, Гбайт
1	ASAR 12,5м	ENVISAT	2003-03-19	2011-07-31	1 546	205
2	ASAR 75м	ENVISAT	2002-08-21	2012-04-08	11 152	2 074
3	ASTER	TERRA	2015-06-05	2016-07-20	1 645	11
4	ASTERGDEM	TERRA	2011-02-28	2019-08-05	2	982
5	AVHRR	NOAA 18	2012-12-24	2020-12-03	66 069	1 076
6	C_SAR_EW	Sentinel-1A	2014-10-03	2020-12-04	96 689	12 632
		Sentinel-1B	2016-09-26	2020-12-04	64 670	8 804
7	C_SAR_IW	Sentinel-1A	2014-10-03	2020-12-04	698 149	349 773
		Sentinel-1B	2016-09-26	2020-12-04	527 984	252 674
8	Deimos	Deimos	2009-12-17	2015-05-08	427	36
9	ETM+	Landsat 7	1999-06-29	2020-12-03	2 983 253	171 497
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	KMCC-101	«Метеор-М» № 1	2011-12-09	2013-01-14	14 746	543
		«Метеор-М» № 2	2014-08-06	2020-08-14	22 122	1 722
13	KMCC-102	«Метеор-М» № 1	2011-12-09	2013-01-14	14 477	571
		«Метеор-М» № 2	2015-02-12	2020-08-14	27 920	2 181
14	MODIS	AQUA	2008-11-08	2020-12-03	1 908 133	80 825
		Terra	2000-01-09	2020-12-03	2 077 866	112 167
15	MSI	Sentinel-2	2018-01-02	2020-11-26	2 950	2 234
		Sentinel-2A	2015-07-08	2020-12-03	4 277 946	1 328 388
		Sentinel-2B	2017-05-15	2020-12-03	3 002 757	942 151
16	MCC	«Канопус-В»	2014-02-22	2015-04-23	8	1
		«Канопус-В-ИК»	2018-05-20	2019-04-06	12	0
		«Канопус-В» №3	2018-06-02	2020-06-10	58	1
		«Канопус-В» №4	2018-05-01	2020-06-19	66	1
		«Канопус-В» №5	2019-04-05	2019-05-25	30	0
		«Канопус-В» №6	2019-04-03	2019-04-20	18	0
17	МСУ-ИК-СРМ	«Канопус-В-ИК»	2017-08-08	2017-11-29	32	1
18	МТВЗА	«Метеор-М» № 2-2	2020-02-05	2020-02-06	38	9
19	OLCI	Sentinel-3A	2016-06-04	2020-12-02	30 572	1 756
		Sentinel-3B	2019-01-23	2020-12-02	14 336	825
20	OLI	Landsat 8	2013-04-01	2020-11-14	6 936	1 145

№	Прибор	Спутник	Диапазон дат		Кол-во	Размер, Гбайт
21	OLI атм коп	Landsat 8	2014-01-15	2017-09-02	57 258	9 980
22	OLI-TIRS	Landsat 8	2013-03-19	2020-12-03	2 346 157	407 424
23	OMPS	Suomi NPP	2018-01-01	2020-04-02	210	0
24	OrbView-3	OrbView-3	2003-09-17	2007-03-04	79 761	20 656
25	ПСС	«Канопус-В»	2012-10-02	2018-09-09	50	10
		«Канопус-В-ИК»	2018-08-26	2019-04-06	68	3
		«Канопус-В» №3	2018-04-30	2020-06-10	344	19
		«Канопус-В» №4	2018-05-01	2020-06-19	342	20
		«Канопус-В» №5	2019-04-05	2019-05-25	72	3
		«Канопус-В» №6	2019-04-03	2019-04-20	54	2
26	SAR 12.5 m	ERS	1999-03-16	1999-07-06	75	11
27	SAR 75m	ERS	2009-02-13	2011-07-04	469	35
28	SLSTR	Sentinel-3A	2016-11-16	2020-12-03	382 529	1 438
		Sentinel-3B	2019-01-14	2020-12-03	259 784	946
29	SSUSI	DMSP	2010-04-14	2020-05-04	207 862	690
30	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
31	TROPOMI	Sentinel-5P	2018-01-01	2020-12-03	1 179 717	346
32	PROBA-V	PROBA-V	2014-03-12	2018-04-30	2 664	12 451
33	VIIRS	Suomi NPP	2012-07-02	2020-12-03	122 284	6 959
ИТОГО:		–	1984-03-06	2020-12-04	22 281 355	3 823 242

Таблица 1.3.3.2 — Статистика наличия данных в архивах НИЦ «Планета»

№	Прибор	Спутник	Диапазон дат		Кол-во	Размер, Гбайт
1	АНИ	HIMAWARI-8	2015-09-01	2020-12-04	1 837 462	60 593
2	AVHRR	NOAA 15	2011-12-22	2019-07-02	52 382	687
		NOAA 16	2011-10-28	2014-06-06	47 619	856
		NOAA 18	2011-09-20	2020-12-04	318 352	5 765
		NOAA 19	2011-11-24	2020-12-04	283 469	5 192
3	Геотон-П	«Ресурс-П» №1	2014-06-24	2020-06-28	734	151
		«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	38 588	1 038
		GOES-W	2013-05-23	2018-04-28	57 379	648
		MTSAT 2	2013-05-23	2015-12-04	29 254	511
5	KMCC-101	«Метеор-М» № 1	2011-10-01	2014-09-23	35 257	1 474
		«Метеор-М» № 2	2014-09-17	2020-12-03	469 475	44 957
6	KMCC-102	«Метеор-М» № 1	2011-10-01	2014-09-23	38 535	2 079
		«Метеор-М» № 2	2014-09-17	2020-12-03	453 519	47 397
7	KMCC-50	«Метеор-М» « 2	2016-04-10	2016-04-19	900	37
8	KMCC2-101	«Метеор-М» № 2-2	2019-12-09	2020-12-03	59 002	7 524
9	KMCC2-102	«Метеор-М» № 2-2	2019-12-09	2020-12-03	58 572	7 223
10	MODIS	AQUA	2011-11-24	2020-12-04	1 059 348	43 170
		TERRA	2011-12-23	2020-12-04	1 153 502	49 770
11	MCC	«Канопус-В»	2011-12-30	2020-02-15	47 709	719
		«Канопус-В-ИК»	2013-10-06	2020-11-04	680	9
		«Канопус-В» №3	2018-07-15	2020-11-14	178	2
		«Канопус-В» №4	2018-07-23	2020-11-19	90	1
		«Канопус-В» №5	2020-06-30	2020-10-22	146	1
		«Канопус-В» №6	2020-06-15	2020-11-11	178	2
12	МСУ-ГС	«Электро-Л-1»	2013-10-31	2020-07-05	17 595	557
		«Электро-Л-2»	2016-04-14	2020-12-04	427 672	2 747
13	МСУ-ИК-СРМ	«Канопус-В-ИК»	2017-08-08	2020-12-02	11 295	3 115
14	МСУ-МР	«Метеор-М» № 1	2014-03-07	2014-12-12	10 319	162
		«Метеор-М» № 2	2014-07-31	2020-12-04	1 612 235	39 724
		«Метеор-М» № 2-2	2019-07-19	2020-12-04	10 749	160
15	МТВ3А	«Метеор-М» № 2-2	2020-02-05	2020-11-09	237	63

№	Прибор	Спутник	Диапазон дат		Кол-во	Размер, Гбайт
16	MVIRI	Meteosat 7	2013-05-23	2017-01-25	97 300	2 072
17	OLCI	Sentinel-3A	2020-09-06	2020-12-02	1 860	104
18		Sentinel-3B	2020-09-06	2020-12-02	1 861	104
19	ПСС	«Канопус-В»	2011-12-30	2020-01-21	41 155	2 625
		«Канопус-В-ИК»	2013-10-06	2020-11-04	544	32
		«Канопус-В» №3	2018-07-02	2020-11-02	190	9
		«Канопус-В» №4	2018-07-31	2020-10-30	148	7
		«Канопус-В» №5	2020-06-30	2020-10-22	214	10
		«Канопус-В» №6	2020-06-30	2020-10-31	198	10
20	SEVIRI	Meteosat 10	2017-10-04	2020-12-04	485 760	6 783
		Meteosat 8	2017-07-03	2020-11-18	461 634	6 476
		MSG	2013-05-23	2018-04-28	152 080	8 442
21	КИМСА-СР	«Ресурс-П» №2	2015-03-17	2016-12-18	50	13
22	КИМСА-БР	«Ресурс-П» №1	2014-04-01	2020-11-13	1 120	538
		«Ресурс-П» №2	2015-03-17	2017-12-15	606	165
		«Ресурс-П» №3	2016-05-11	2017-02-11	216	42
23	SLSTR	Sentinel-3A	2018-01-01	2020-12-03	36 887	127
24		Sentinel-3B	2020-06-08	2020-12-03	34 061	125
25	TROPOMI	Sentinel-5P	2018-04-30	2020-12-03	186 517	2
26	VIIRS	JPSS1 (NOAA 20)	2018-01-10	2020-12-03	94 103	5 983
		Suomi NPP	2013-02-27	2020-12-04	288 982	19 445
ИТОГО:	-	—	2011-09-20	2020-12-04	10 018 817	379 790

1.3.4 Основные информационные продукты, предоставляемые ЦКП

Архивы ЦКП «ИКИ-Мониторинг» в основном содержат каналные данные спутниковых приборов наблюдения уровня обработки L1B, а именно, прошедшие радиометрическую и геометрическую коррекцию. При этом на основе реализованного в рамках технологии UNISAT механизма доступа к виртуальным продуктам, пользователи получают доступ к широкому спектру различных информационных продуктов, динамически формируемых по запросу пользователей на основе физически имеющихся в архивах данных. Это позволяет избежать хранения огромных объёмов данных, радикально уменьшить нагрузку на систему обработки спутниковых данных, а также обеспечить высокую степень гибкости и масштабируемости системы доступа, т.к. для добавления нового виртуального продукта достаточно определить правила его формирования. В настоящее время число реализованных вариантов получения таких виртуальных продуктов превышает 500 и постоянно возрастает, что позволяет эффективно решать самые разные научные и прикладные задачи. При этом один и тот же тематический информационный продукт, зачастую, может быть получен по целому ряду различных приборов наблюдения. Ниже, для примера, приведён сокращённый список виртуальных продуктов, реализованных для данных высокого разрешения (данные серий спутников Sentinel-2, Landsat, «Метеор», «Ресурс-П», «Канопус» и др.):

- поверхность,
- паншарпенинг,
- растительность (red, nir, swir),
- тепловые аномалии,
- естественный синтез,
- дым и облачность,
- льды и снег,
- пожарный синтез,
- NDVI,
- маска облачности,
- водные объекты,
- SST (Sea Surface Temperature) и др.

Отметим, что динамическое формирование некоторых тематических информационных продуктов бывает нецелесообразным и, в первую очередь, это связано с тем, что для их получения необходимы значительные вычислительные ресурсы, что привело бы к большим временным задержкам. В этих случаях, задача их получения возлагается на автоматизированную систему обработки спутниковых данных, а получаемые информационные продукты физически заносятся в архив. Ниже перечислены некоторые из таких продуктов, как правило, характеризующиеся уровнем обработки L2 или выше:

- различные безоблачные композитные изображения, ориентированные на развитие методов анализа многовременных наборов данных;
- концентрация SO₂ и других газов в атмосфере;
- SST (по данным некоторых из приборов наблюдения);
- льды и снег (по данным некоторых из приборов наблюдения);
- индекс хлорофилла;
- температура Земной поверхности по данным спутников серии Sentinel-3;
- практически все композитные информационные продукты по большой территории, в частности, характеризующие состояние сельскохозяйственных угодий, лесных массивов, состава снежного покрова и др.

В 2020 году состав доступных пользователям информационных продуктов был существенно расширен. Было реализовано поступление ряда информационных продуктов, получаемых по данным европейских спутников Sentinel-3 (приборы OLCI, SLSTR) по температуре поверхности океана.

В 2020 году было также реализовано в архивы поступление целого ряда новых композитных информационных продуктов, основные из которых приведены ниже:

- новые версии восстановленных недельных и четырёхдневных композитов индексов NDVI, PVI и отражательной способности в красном и ближнем инфракрасном диапазоне по данным MODIS;
- ежедневные интерполированные композиты индексов NDVI, PVI и отражательной способности в красном и ближнем инфракрасном диапазоне по совмещённым данным MODIS с КА AQUA и TERRA;
- суточные, недельные и годовые композиты среднего, минимального и максимального содержания различных газов в атмосфере, в том числе диоксида азота, озона и др., а также аэрозольного индекса по данным прибора TROPOMI.
- суточные композиты по данным КА Sentinel-2;

Кроме того, были сформированы и введены в работу обновлённые БД пожаров, построенные на базе данных прибора MODIS версии MC6.

1.3.5 УНУ «Вега-Science» и развитие ее в 2020 году

«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 распределённый 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 удалённой 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 состояния

растительного покрова Северной Евразии, включая Россию и близлежащие страны. По любому району этой территории в архивах имеются данные с начала двадцать первого столетия. Важнейшим преимуществом реализованного сервиса является поддержка широкого спектра инструментов для обработки и анализа данных в режиме, приближенном к реальному времени.

В 2020 году был существенно расширен список доступных информационных продуктов, что позволило обеспечить работу пользователей с новыми информационными продуктами, описанными в п. 1.3.4 настоящего отчёта.

В 2020 году была также существенно расширена функциональность предоставляемых пользователям инструментов для анализа и обработки спутниковых данных:

- Были разработаны инструменты анализа хода средних значений вегетационных индексов для различных полей в течение сезона и их многолетней динамики;
- Были разработаны инструменты для интерактивной интерпретации и кодификации полей, соответствующих пахотным землям, залежам, сенокосам и пастбищам, а также посевным землям, занятым озимыми и яровыми культурами, и землям, занятым чистым паром;
- Были разработаны инструменты для анализа порайонной статистики, полученной в рамках переписей 2016 и 2021 годов и выделения районов, в которых имеются подозрения в некорректности полученной в рамках микропереписи информации об использовании сельскохозяйственных угодий и посевных площадей;
- Была реализована и введена в эксплуатацию унифицированная автоматизированная подсистема наблюдений за природными и природно-антропогенными объектами. В качестве показателей для наблюдения по спутниковым данным используются многоканальные спектральные индексы, а в качестве характеристик для расчёта — среднее значение, среднеквадратическое отклонение, площадь целевых пикселей и т.п. Показатели могут быть как уже вычисленными в процессе аннотации, так и вычисляемыми «на лету» по формуле с использованием канальных данных, рассчитанных заранее и хранящихся в базе данных наблюдений. Подход с вычисляемыми по запросу показателями позволяет формировать ряды для неограниченного количества спектральных индексов в рамках выбранной спутниковой системы, не затрагивая при этом вычислительные ресурсы, и с лёгкостью добавлять новые индексы для анализа. Многолетняя динамика полученных в процессе аннотации значений позволяют проследить процессы, происходящие с объектами контроля, и сделать выводы об их состоянии. Разработанные при создании подсистемы подходы позволяют организовывать постоянный дистанционный мониторинг различных природных и природно-антропогенных объектов, подсистема наблюдений может быть масштабируема на различные предметные области.

Кроме этого, в 2020 году были модифицированы различные компоненты реализованного многофункционального веб-интерфейса. В частности, разработана новая версия интерфейса для работы с подсистемой наблюдения объектов.

1.3.6 Научные и прикладные информационные системы, использовавшие возможности ЦКП в 2020 году

На основе предоставляемых ЦКП «ИКИ-Мониторинг» возможностей по доступу и обработке спутниковых данных в 2020 году функционировало более 14 различных специализированных систем научных проектов, в частности:

- Информационная система «Аврора-Арктика» (<http://dev.aurora.geosmis.ru/>), разработанная в ИКИ РАН и введённая в опытную эксплуатацию в 2017 году. Система ориентирована на работу с данными наблюдений ионосферы Земли,

полученных со спутников серии DMSP, показателей наблюдения солнечного ветра по данным NOAA, метеорологических данных, а также данных спутниковых наблюдений в оптическом диапазоне, полученных различными системами (MODIS, AVHRR и др.) и прогностической информацией о границах аврорального овала.

- Для распределённой 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.
- 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 её комплексный анализ и др.
- Информационная система «Вера-Лес» (<http://forest.geosmis.ru>), предназначенная для обеспечения оперативного доступа к непрерывно обновляемому многолетнему архиву данных дистанционного зондирования Земли из космоса, получаемым на их основе тематическим информационным продуктам, инструментам автоматизированной обработки, анализа и синтеза различной информации для решения задач комплексного мониторинга лесов России;
- Информационная система EcoSatMS (<http://suvo.geosmis.ru/>), предназначенная, в первую очередь, для дистанционного мониторинга трансграничных вод и регулярного мониторинга показателей вегетационных индексов и развития с/х культур по территории Узбекистана, а также некоторым территориям соседних стран. Имея широкий функционал, система предоставляет инструменты для работы со спутниковыми данными различного разрешения и позволяет решать актуальные для Узбекистана задачи.

В 2020 году на базе ЦКП «ИКИ-Мониторинг» был реализован макет технологии контроля данных сельскохозяйственной микропереписи (МТК СХМП) и запущен его информационный сервер по адресу <http://agrocensus21.geosmis.ru/>. Макет предназначен для отработки и введения в эксплуатацию технологию контроля данных микропереписи с

целью верификации полученных в рамках неё статистических данных к 2021 году. Основные задачи макета:

- повышение уровня достоверности данных сельскохозяйственной микропереписи о площадях различных видов сельскохозяйственных угодий (пашни, сенокосов, пастбищ, залежи) и о посевных площадях на уровне муниципальных районов субъектов Российской Федерации за счёт использования объективного источника информации – спутниковых данных ДЗЗ;
- повышение оперативности решения задачи объективного контроля данных, собираемых в ходе сельскохозяйственной микропереписи, за счёт оперативного получения данных спутникового наблюдения и результатов их обработки;
- сокращение временных затрат на проведение работ по объективному контролю данных, собираемых в ходе сельскохозяйственной микропереписи, за счёт автоматизации процессов получения и обработки данных спутникового наблюдения;
- упрощение доступа специалистов Федеральной службы государственной статистики и её территориальных органов к информации о пространственном распределении и площадях сельскохозяйственных угодий и посевов, полученной на основе данных спутникового наблюдения, а также к результатам их сопоставления со статистическими данными (текущей сельскохозяйственной статистики, пилотного обследования, сельскохозяйственной микропереписи).

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 2020 году такие разработки, в частности, внедрялись в системы:

- 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.
- Объединённую систему работы с данными региональных центров ФГБУ «НИЦ «Планета» (<http://moscow.planeta.smislab.ru>) — сложный, комплексный инструмент работы с данными, позволяющий решать задачи гидрометеорологического мониторинга, мониторинга чрезвычайных ситуаций и многие другие исключительно за счёт ресурсов и инструментов обработки и анализа данных самой системы, доступных через веб. На сегодняшний день система представляет собой распределённую, модульную веб-ГИС, совмещённую со сверхбольшими архивами данных ДЗЗ прямого доступа, обеспечивающую онлайн-сервисы данных для ЦКП «ИКИ-Мониторинг» и большого количества прикладных информационных систем, являясь одним из основных источников оперативной спутниковой информации в России;
- 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.

1.3.7 Пользователи ЦКП

В 2020 году возможностями ЦКП «ИКИ-Мониторинг» пользовались более 95 организаций (<http://ckp.geosmis.ru/default.aspx?page=7>). При этом новыми пользователями ЦКП стали 10 организаций:

1. Центр устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов (ЦУДМЛ) ФГБОУ ВО Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола.
2. ФГБУН «Федеральный исследовательский центр южный научный центр РАН (ЮНЦ РАН), Ростов-на-Дону.
3. ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ), Уфа.
4. ФГБУН «Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН» (БИН РАН), Санкт-Петербург.
5. ФГБУ «Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем» (ФГБУ УралНИИ «Экология»), Пермь.
6. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донецкий национальный университет» (ДонНУ), Донецк.
7. ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева» (ФГБОУ ВО МГУ им. Н.П. Огарева), Саранск, Республика Мордовия.
8. ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина».
9. Филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова в г. Севастополе» (Филиал МГУ в г. Севастополе).
10. ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт» (национальный исследовательский университет) (МАИ).

1.3.8 Научные проекты, выполняемые с использованием возможностей ЦКП «ИКИ-Мониторинг» в 2020 году

В 2020 году возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг» использовались для решения задач 22 проектов, поддерживаемых Российским научным фондом, Российским фондом фундаментальных исследований и Министерством образования и науки:

- РНФ 019-77-30015. Разработка методов и технологии комплексного использования данных дистанционного зондирования Земли из космоса для развития системы национального мониторинга бюджета углерода лесов России в условиях глобальных изменений климата, Руководитель: Барталев С.А., д-р техн. наук. 2019–2022. Головная организация — Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН.
- РНФ 19-71-20035. Информационно-вычислительная система вариационной ассимиляции данных наблюдений «ИВМ РАН – Черное море» и её интеграция с программно-аппаратным комплексом ЦКП «ИКИ-Мониторинг», Руководитель: Агошков В.И., д-р физ.-мат. наук. 2019–2022. Головная организация — Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука Российской академии наук.
- РНФ 19-75-20088. Создание опирающейся на данные дистанционного зондирования Земли методологии анализа и прогнозирования влияния климатических и экологических факторов на заболеваемость природно-очаговыми инфекциями,

- Руководитель: Малеев В.В., д-р мед. наук. 2019–2022. Головная организация — Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.
- РНФ 19-77-20060. Оценка изменчивости экологического состояния Каспийского моря в текущем столетии по данным спутникового дистанционного зондирования, Руководитель: Лаврова О.Ю., канд. физ.-мат. наук. 2019–2022. Головная организация — Институт космических исследований Российской академии наук.
 - РНФ 19-74-20185. Научные основы учёта, оценки экологического состояния, климатогенной роли и пожарной опасности антропогенно изменённых торфяных болот на основе спутниковых и наземных данных, Руководитель: Сирин А.А., д-р биол. наук. 2019–2022. Головная организация — Институт лесоведения Российской академии наук.
 - РФФИ 19-35-60007, Пространственно-временные закономерности динамики состояния аридных пастбищных ландшафтов на основе анализа спектрально-отражательных свойств, Руководитель: Шинкаренко С.С., канд. с.-х. наук 2019–2022, Головная организация — Институт космических исследований Российской академии наук
 - Минобрнауки 0024-2019-0014. Большие данные в космических исследованиях: астрофизика, солнечная система, геосфера, Руководитель: Прошин А.А., канд. техн. наук. 2019–2021. Головная организация — Институт космических исследований Российской академии наук.
 - Тема Мониторинг № 01.20.0.2.00164. Разработка методов и технологий спутникового мониторинга для научных исследований глобальных изменений и обеспечения безопасности, Руководитель: Лупян Е.А., д-р техн. наук. 2003–2021. Головная организация — Институт космических исследований Российской академии наук.
 - Минобрнауки № 5.577.21.0294. Разработка технологий автоматизированной обработки спутниковых данных дистанционного зондирования Земли для создания и поддержки информационных сервисов мониторинга лесных ресурсов и охотничьих угодий России. Руководитель: Егоров В.А., канд. техн. наук. 2018–2020. Головная организация — Институт космических исследований Российской академии наук.
 - РФФИ 19-416-233031p_мол_а. Дистанционные методы оценки хозяйственно-полезных признаков зерновых культур в агроценозах, Руководитель: Подушин Ю.В. 2019–2020. Головная организация — ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина».
 - РФФИ 18-29-24121. Разработка методов и основ дистанционного компьютеризированного мониторинга изменений окружающей среды в местах расположения источников техногенных отходов и отвалов, Руководитель: Лупян Е.А., д-р техн. наук. 2018–2020. Головная организация — Институт космических исследований Российской академии наук.
 - РФФИ 20-37-70008, Разработка нейросетевых алгоритмов анализа вулканической активности по данным видеонаблюдения, Руководитель: Камаев А.Н., к.т.н., 2019 - 2021, Головная организация — ФГБУН Хабаровский Федеральный исследовательский центр ДО РАН
 - грант Президента РФ для поддержки молодых ученых — кандидатов наук МК-321.2019.5, Закономерности пирогенных изменений в аридных ландшафтах на основе анализа спектрально-отражательных характеристик, Руководитель: Шинкаренко С.С., канд. с.-х. наук 2019–2020, Головная организация — Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук
 - 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. Руководитель: Мохов И.В., д-р физ.-мат. наук, академик. 2018–2020. Головная организация — Институт физики атмосферы РАН.
- 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), Руководитель: Лаопуулос Т. 2018–2020. Головная организация — Университет имени Аристотеля в Салониках.
 - 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: Тутубалина О.В., канд. геогр. наук. 2018–2020 Головная организация — Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова.
 - 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: Бартаев С.А., д-р техн. наук. 2018–2019. Головная организация — Институт космических исследований Российской академии наук.
 - 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, Руководитель: Алексанин А.И., д-р техн. наук. 2017–2019. Головная организация — Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН.
 - РФФИ 18-29-03100. Методы и алгоритмы организации вычислительных процессов в гибридном высокопроизводительном распределённом кластере для актуальных задач цифровой экономики, Руководитель: Горшенин А.К. Год начала проекта — 2018. Головная организация — МГУ им. М.В. Ломоносова.
 - РФФИ 17-05-01059. Природно-климатические тренды Байкальского региона, Руководитель: Гармаев Е.Ж. Год начала проекта — 2017. Головная организация — Байкальский институт природопользования Сибирского отделения РАН.
 - Бюджетный проект 0336-2019-0002, Распространение радиоволн в неоднородных импедансных каналах. Год начала проекта 2019, Головная организация — Институт физического материаловедения СО РАН (ИФМ СО РАН);
 - Бюджетный проект АААА-А17-117011810038-7, Эволюция, функционирование и эколого-биогеохимическая роль почв Байкальского региона в условиях аридизации и опустынивания, разработка методов управления их продукционными процессами, Головная организация — Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН (ИОЭБ СО РАН);
 - Проект МАИ 05.607.21.0308, Разработка принципов построения многоспутниковой системы дистанционного зондирования Земли на базе созвездия малых космических аппаратов с созданием прототипов программно-аппаратных решений в интересах автоматизированного мониторинга Арктики и трассы Северного морского пути;
 - Проект федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» на тему «Разработка информационно-ресурсной цифровой платформы интеллектуального управления системами земледелия и землепользования на уровне хозяйствующего субъекта и региона для перехода к высокопродуктивному агрохозяйству нового технологического уклада» (уникальный идентификатор проекта RFMEFI60719X0302). Основной исполнитель

проекта : ФГБНУ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева». Год начала проекта — 2019.

За предшествующие годы с использованием возможностей ЦКП «ИКИ-Мониторинг» был выполнен 51 научный проект. С полным списком проектов можно ознакомиться на сайте ЦКП (<http://ckp.geosmis.ru/default.aspx?page=5>).

1.3.9 Основные публикации, при подготовке которых были использованы возможности ЦКП

По имеющимся у нас данным на текущий момент опубликовано уже более 530 результатов работ, которые выполнялись с использованием возможностей ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Из них 106 статей были опубликованы в 2020 году. С полным списком статей можно ознакомиться на сайте ЦКП (<http://ckp.geosmis.ru/default.aspx?page=4&p=7>).

1.3.10 Анализ текущих особенностей и возможных направлений развития ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

1.3.10.1 Текущие особенности развития ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

За последние пять лет суммарный объем данных в архивах ЦКП «ИКИ-Мониторинг» возрос более чем в три раза, что потребовало соответствующего наращивания используемых для обработки и хранения спутниковых вычислительных ресурсов. Также радикально возросло количество различных типов спутниковых данных и информационных продуктов, получаемых на их основе, а также инструментов для их анализа и обработки. Постоянно ведутся работы по расширению доступного пользователям функционала и удобства в его использовании и стабильности работы сервисов ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Совершенствуются технологии и программное обеспечение, отвечающие за реализацию всех этапов работы со спутниковыми данными, включая их сбор, архивацию, обработку и предоставление пользователям. Стремительно возрастающая сложность системы предъявляет все возрастающие требования к организации подсистемы контроля за бесперебойной работой программно-аппаратного комплекса. Поэтому особое внимание также уделяется совершенствованию программного обеспечения, позволяющего в автоматическом режиме максимально оперативно и точно диагностировать самые разные неполадки в работе системы для своевременного их устранения.

Однако, несмотря на достигнутые высокие результаты, дальнейшее развитие ЦКП «ИКИ-Мониторинг» за счёт возможностей одной организации связано с рядом определенных сложностей и проблем. Стремительное развитие спутниковых систем ДЗЗ приводит к экспоненциальному росту объёмов, поступающих в архивы спутниковых данных, для хранения и обработки которых требуется все больше дорогостоящее оборудование. Поэтому ограниченность материальных ресурсов в перспективе не позволит нам обеспечить работу со всеми новыми типами спутниковых данных. Кроме того, для максимально надёжного хранения данных и повышения скорости доступа к ним необходимо хранение одних и тех же данных в нескольких экземплярах. Также сказывается ограниченность численности задействованного в разработке и развитии центра персонала. Силами одного коллектива, даже при наличии сотрудничества с другими организациями, проблематично наращивать возможности центра настолько быстро, чтобы в полной мере реализовать потенциал данных, получаемых с современных спутниковых систем ДЗЗ. Значительных людских ресурсов требует также поддержка бесперебойного функционирования постоянно растущего парка оборудования и программных систем.

Немаловажным также является то, что размещение всего оборудования на одной площадке приводит к тому, что в случае серьёзного сбоя с оборудованием или сетью, предоставляемые ЦКП «ИКИ-Мониторинг» сервисы окажутся полностью недоступными.

Также стоит отметить, что несмотря на постоянное развитие компьютерных сетей, скорость передачи данных по сети по-прежнему ограничивает возможности по работе с объёмными спутниковыми данными, особенно для территориально удалённых региональных центров. В настоящее время коллектив разработчиков ЦКП «ИКИ-Мониторинг» сотрудничает с большим количеством научных организаций разного профиля, однако этого недостаточно для полноценного развития функциональных возможностей центра во всех тематических сферах применения данных ДЗЗ.

1.3.10.2 Возможное перспективное направление развития ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

Наиболее перспективным подходом к дальнейшему развитию ЦКП «ИКИ-Мониторинг», позволяющим эффективно решать вышеперечисленные проблемы, является переход на распределённую модель построения, ориентированную на развитие информационных узлов ЦКП в крупных научных и образовательных центрах, а также в центрах приёма и обработки спутниковых данных. Переход на такую модель развития в перспективе позволит создать объединённый центр коллективного пользования, в поддержке и развитии которого будут участвовать различные научные и образовательные организации. В соответствии со спецификой решаемых задач могут быть реализованы следующие основные типы информационных узлов:

- специализированные научные узлы,
- специализированные образовательные узлы,
- специализированные узлы усвоения данных.

Специализированные научные узлы предназначены для проведения научных исследований, выполняемых ведущими российскими и зарубежными научными группами и коллективами, в частности, для решения следующих задач: мониторинг состояния окружающей среды, исследование атмосферных и климатических процессов, дистанционное исследование поверхности океана и ледяных покровов, применение данных ДЗЗ в задачах геологии и геофизики, дистанционное зондирование ионосферы. Использование научных узлов будет способствовать плодотворному сотрудничеству различных научных коллективов и способствовать проведению междисциплинарных исследований. Такие узлы могут быть, в частности, развёрнуты в региональных научных центрах, уже имеющих опыт работы с ЦКП «ИКИ-Мониторинг».

Специализированные образовательные узлы предназначены для использования в различных образовательных программах и проектах и позволят обеспечить студентам доступ к спутниковым данным и к инструментам для работы с ними при выполнении практикумов, лабораторных работ, подготовки дипломных проектов и выполнения НИР. Определённый задел в этом направлении у нас уже есть, так как мы являемся базовой кафедрой Факультета космических исследований Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (<https://cosmos.msu.ru>), магистерская программа «Методы и технологии дистанционного зондирования Земли». Использование образовательных узлов позволит в будущем получить высококвалифицированные научные кадры в различных областях знаний, владеющие навыками работы с данными ДЗЗ.

Специализированные узлы усвоения данных предназначены для сбора и обработки данных, поступающих с современных и перспективных российских и зарубежных спутников. Основными задачами таких узлов являются автоматизированная обработка поступающих со станций приёма данных до уровня L1B, организация надёжного их хранения и обеспечение эффективных механизмов доступа к ним, включая возможности их обработки и анализа в интерактивном режиме. Также на базе таких узлов можно было бы получать продукты и более высоких уровней обработки. Отметим, что у коллектива отдела «Технологии спутникового мониторинга» имеется большой опыт плодотворного сотрудничества с центрами приёма и обработки спутниковых данных ФГБУ «НИЦ «Планета», что объясняет заинтересованность в наращивании их возможностей, одним из

вариантов которого является установка в этих центрах информационных узлов усвоения данных.

Заключение

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

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

- разработка подходов и развитие методов эффективной распределённой обработки данных ДЗЗ, в том числе создание унифицированной системы сбора и обработки данных, поступающих от спутников семейства Sentinel;
- разработка концепции системы объективного дистанционного мониторинга объектов и ресурсов для обеспечения информационной связанности территории России;
- развитие специализированных информационных систем, ориентированных на исследование различных процессов и явлений, в том объединённой системы работы с данными центров НИЦ «Планета» и системы мониторинга вулканической активности;
- непрерывная поддержка работоспособности ЦКП «ИКИ-Мониторинг», расширение состава используемых в нем данных и инструментов для их анализа (развитие уникальной научной установки «Вега-Science»);

Материалы, представленные в данной главе, позволяют считать, что работы по направлению «Мониторинг-Технологии» в 2020 году выполнены в полном объёме.

РАЗДЕЛ 2 МОНИТОРИНГ-БИОСФЕРА

Введение

Раздел «Мониторинг-Биосфера» посвящён вопросам, связанным с изучением растительного покрова на основе методов и технологий обработки данных, поступающих со спутниковых приборов. Растительный покров, как неотъемлемая часть биосферы планеты, характеризуется нарастающими процессами деградации и трансформации, вызванными антропогенным воздействием и климатическими изменениями. Наиболее эффективным 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 мониторинга растительного покрова были, прежде всего, сфокусированы на следующих основных направлениях:

- развитие научных основ и автоматизированных методов обработки временных рядов мультисенсорных данных дистанционного зондирования для обеспечения долговременного мониторинга наземных компонент биосферы;
- развитие методов обработки данных ДЗЗ, направленных на получение устойчивых нормализованных наборов и рядов данных для оценки различных характеристик почвенно-растительного покрова;
- развитие методов дистанционного мониторинга динамики наземных экосистем с использованием физических и эколого-математических моделей;
- формирование и анализ многолетних рядов характеристик наземных компонент биосферы для исследования глобальных изменений, решения задач рационального природопользования и устойчивого развития.

Подробно полученные в данном направлении результаты изложены в следующих научных публикациях [6, 8, 28, 34, 38, 40, 42, 43, 64, 66, 83, 90, 91, 92, 97, 138-141].

2.1 Развитие научных основ и автоматизированных методов обработки временных рядов мультисенсорных данных дистанционного зондирования для обеспечения долговременного мониторинга наземных компонент биосферы

2.1.1. Развитие методов восстановления временных серий мультиспектральных индикаторов состояния растительного покрова

Для оценки различных характеристик растительного покрова часто требуется построение мультиспектральных индексов, характеризующих состояние зелёной биомассы, содержание азота, воды и др. (например, NDMI (Normalized Difference Moisture Index), CII (Chlorophyll Index), Red Edge Index, CVI (Chlorophyll Vegetation Index), ClGreen

(Green chlorophyll index), GNDVI, NDWI, отдельные каналы и т.д.). Задача восстановления множества мультиспектральных индексов приводит, с одной стороны, к необходимости кратного увеличения ресурсов для их расчёта и, с другой стороны, сопряжена с проблемой появления множества оценок для некоторых параметров, вычисленных разными способами из восстановленных индексов. После независимого восстановления временных рядов этих метрик, последние могут перестать придерживаться изначальных закономерностей. Например, значения часто используемого независимо восстановленного нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI могут отличаться от значений этого индекса, вычисленного на основе независимо восстановленных красного и ближнего ИК-каналов (рисунок 2.1.1.1).

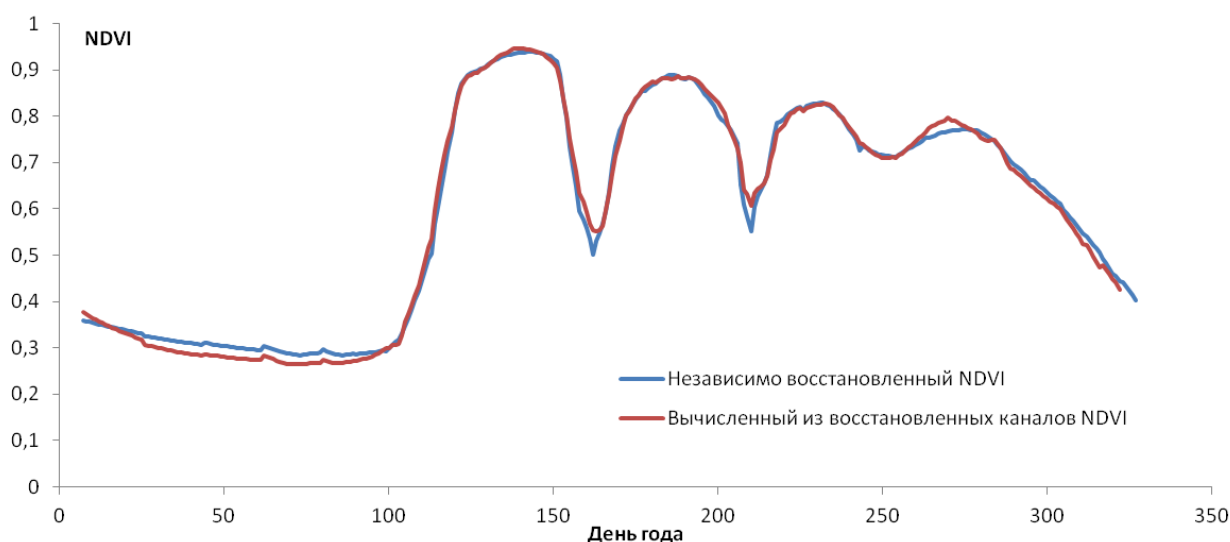


Рисунок 2.1.1.1 — Сравнение временных серий значений NDVI для фиксированного участка земной поверхности, полученных в результате расчёта из восстановленных красного и ближнего ИК каналов (красный) и в результате независимого восстановления этого индекса (синий)

Одним из способов учесть указанные проблемы является решение задачи оптимизации получаемых метрик таким образом, чтобы их временные серии были не только гладкими и без пропусков, но и совместимы в смысле взаимной однозначности получения производных метрик. При этом логика и последовательность получения вычисленных (производных) метрик на основе независимо восстановленных метрик должна учитывать устойчивость последних к разного рода возмущениям, возникающих в результате ошибок восстановления, влияния мешающих факторов и других аспектов. Например, из тройки связанных между собой метрик, включающей NDVI и измерения спектральной яркости в красном и ближнем ИК каналах, наименее устойчивой является метрика КСЯ в красном канале ввиду, как правило, более низкого отношения сигнал-шум, а также ввиду высокой восприимчивости к состоянию атмосферы и влиянию мешающих факторов в этом диапазоне длин волн, в то время как метрики NDVI и КСЯ в ближнем ИК-канале являются заметно более устойчивыми. Таким образом, вычисление КСЯ в красном канале является наиболее обоснованным в данном случае. Однако прямое вычисление метрики КСЯ из восстановленных независимо вышеуказанных метрик по формуле $Red = NIR \frac{1 - NDVI}{1 + NDVI}$ не позволяет учитывать ошибки (неопределённости восстановления),

возникающие при интерполяции. Возникающий в результате прямого вычисления значений КСЯ эффект комплексирования ошибок интерполяции (метрик NDVI, а также КСЯ в ближнем ИК) может быть сравним или превышать ошибки независимой интерполяции КСЯ в красном канале.

Разработанный подход позволяет осуществлять одновременное восстановление мультиканальных данных таким образом, чтобы невязка (различие между восстановленной и вычисленной метрикой) распределялась между восстанавливаемыми данными и компенсировалась, позволяя получать производную метрику без изменений. В рамках работ в текущем году указанный подход был протестирован на примере решения задачи оптимизации для пары каналов, используемых для построения индекса NDVI.

При оптимизации необходимо выполнение двух условий: разница между независимо восстановленным и вычисленным NDVI для каждого временного среза должна стремиться к нулю $|\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\text{OPT}}| \rightarrow 0$ и невязка между восстанавливаемым и оптимизированным значением в каналах должна быть минимальна. Невязка в данном случае определяется как сумма квадратов разностей в соответствующих каналах: $(\text{Red} - \text{Red}_{\text{OPT}})^2 + (\text{NIR} - \text{NIR}_{\text{OPT}})^2 \rightarrow 0$. Тогда решение задачи оптимизации для КСЯ в

красном канале выглядит следующим образом: $\text{Red}_{\text{OPT}} = \frac{k \cdot \text{NIR} + \text{Red}}{k^2 + 1}$, $k = \frac{1 + \text{NDVI}_{\text{OPT}}}{1 - \text{NDVI}_{\text{OPT}}}$

(рисунок 2.1.1.2). Аналогичным образом становится возможным корректировать значение КСЯ в ближнем ИК канале.

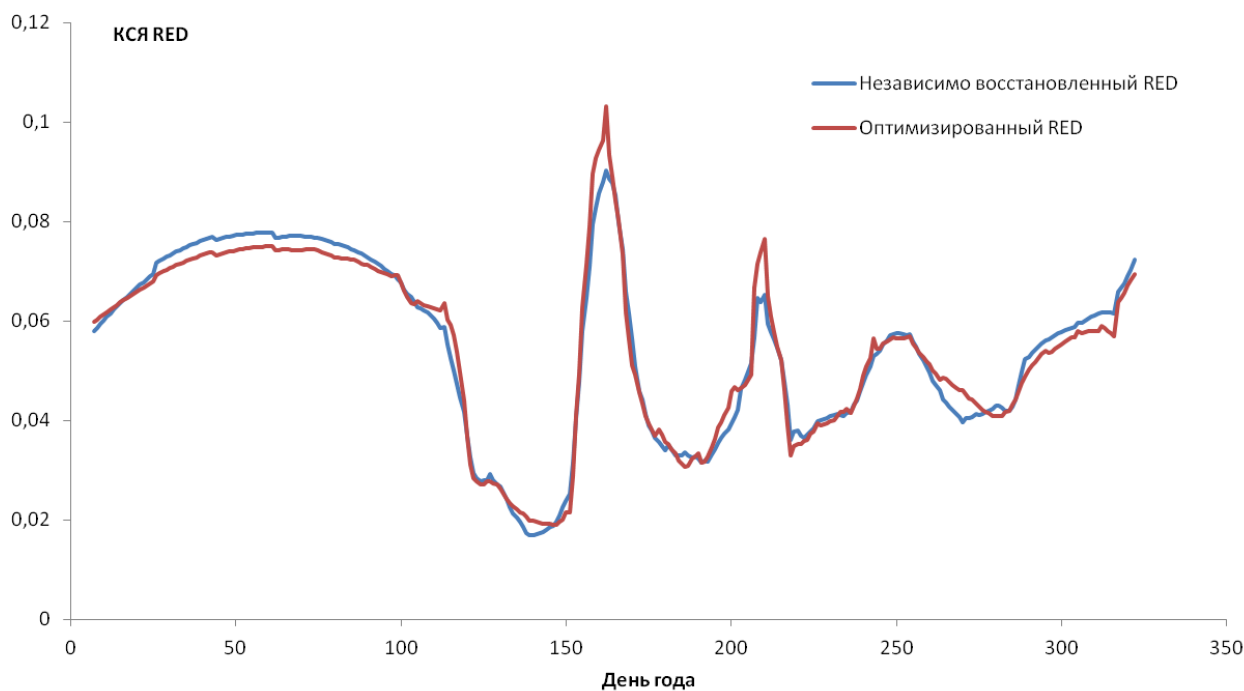


Рисунок 2.1.1.2 — Результат оптимизации при восстановлении временной серии КСЯ в красном канале в сравнении с результатом независимого восстановления данной метрики

Таким образом, в результате проведённых работ появляется возможность создавать временные серии мультиканальных индикаторов, имеющих, с одной стороны, обратную совместимость с восстановленными временными сериями КСЯ в отдельных каналах и другими мультиканальными индикаторами, и, с другой стороны, в меньшей степени подверженных влиянию ошибок восстановления при корректной последовательности их восстановления, предполагающей движение от более устойчивых индикаторов к менее устойчивым.

2.1.2. Разработка методики автоматизированной дистанционной оценки густоты сельскохозяйственных растений

В рамках работ в текущем году разработан алгоритм и методика автоматизированной оценки густоты растений на сельскохозяйственных полях по данным съёмки с беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Определение показателя густоты растений после появления всходов необходимо как для оценки качества результатов сева, так и для уточнения необходимости последующих технологических операций. В производстве густота растений сахарной свёклы определяется подсчётом числа растений на 3–7 случайных участках размером 10 кв. м каждый. При этом обход поля сопряжён со значительными временными затратами, хотя в итоге оценка густоты поля производится по небольшой площади, приблизительно 50 кв. м для поля площадью 10 га. Поскольку свободно доступные спутниковые данные не обеспечивают разрешения в несколько миллиметров на пиксель, в рамках решения этой задачи предлагается использовать изображения с БПЛА. Снимки полей, использованные в данной работе, предоставлены специалистами ООО ЦЧ АПК. Снимки сделаны в нади́р с высоты 30 м с помощью БПЛА DJI Mavic 2 Pro. Использован объектив FOV: 77°, 28 мм (эквивалент формата 35 мм), диафрагма: f/2,8–f/11, разрешение 5472×3648. Облетая поле, БПЛА делал 15–20 остановок в случайных местах и производил съёмку, пример на рисунке 2.1.2.1



Рисунок 2.1.2.1 — Фотография участка поля сахарной свёклы с высоты 30 м

Высота съёмки контролировалась встроенным альтиметром, который не учитывает рельеф местности и не обеспечивает требуемую точность. Поэтому необходимо уточнять разрешение снимка по расстоянию между рядками культуры, которое при использовании для сева современной техники выдерживается достаточно точно. В тестовых снимках расстояние между рядами составляет 45 см.

Ключевая и самая трудоёмкая для оператора операция — подсчёт числа растений на снимке. Операция состоит из двух шагов. Первый шаг — автоматическое выявление всех растений таким образом, чтобы каждое растение отображалось одной связной группой

пикселей. Далее такая группа пикселей именуется «пятном». Второй шаг — подсчёт числа полученных пятен. При поиске пятен необходимо определить критерии связности соседних пикселей (4-связность или 8-связность). В рамках тестирования лучше себя показал вариант 8-связности.

Основным шагом является автоматизированное выявление растений, в процессе которого от каждого растения необходимо получить только одно пятно. Пятно характеризуется двумя параметрами: цвет (зелёное растение контрастно по цвету по отношению к окружающему грунту) и размер (не учитываются слишком маленькие зелёные объекты, чтобы не добавлять к числу растений «визуально отделившиеся» фрагменты растений или мелкие сорняки).

В процессе настройки алгоритма необходимо выявлять пиксели, которые по параметру «цвет» относятся к зелёной биомассе. Входное изображение содержит данные в трех диапазонах, каждый пиксель характеризуется тремя значениями — R (интенсивность красного цвета), G (интенсивность зелёного) и B (интенсивность синего). У пикселя, относящегося к растению, $G > R$ и $G > B$, однако было необходимо дополнительно определить условие, которое позволит не пропустить «зелёные» точки и не позволит ошибочно выделять лишние точки. Зелёная растительность детектировалась по критерию $G - R > T$, где T — пороговое значение. Однако по этому правилу выявлялось довольно много лишних пикселей там, где на поверхности земли находилась тень от микрорельефа или имелись увлажненные участки. Устранение этих недостатков производилось по дополнительному условию $R - B > Tb$, где Tb — также пороговое значение.

Чтобы исключить разного рода шумы при выявлении участков зелёной биомассы был использован пространственный анализ, с усреднением значений ($G - R$) в небольшом круглом окне (с диаметром d пикселей, в данном случае $d = 9$). Упомянутый выше порог T применялся к усреднённым значениям. Такой способ идентификации компактных групп участков зелёной биомассы позволяет совместно учитывать, насколько участки «зелёные» и насколько их много в рассматриваемой окрестности.

На этапе пространственного анализа важно исключить или минимизировать случаи, когда одно растение порождает несколько «пятен», например, из-за того, что отдельные «пятна» создают листья одного растения в случае, когда плохо заметны связывающие их стебли. Эта задача решалась использованием двух морфологических операций — эрозии (сжатие пятен) и дилатации (раздувание пятен). После дилатации на определенную величину (r пикселей), а потом эрозии на ту же величину, происходит слияние пятен, расстояние между которыми меньше чем $2r + 1$ пиксель. На последнем шаге происходит исключение пятен с площадью меньше порога, Ts . Применение указанных операций к изображению на рисунке 2.1.2.1 может приводить к следующим ошибкам (рисунок 2.1.2.2):

- Пропуск. На месте растение может не сформироваться пятно.
- Склейка. Возможна ситуация, когда листья соседних растений перекрываются, и пятна нескольких растений сливаются в одно. При подсчёте густоты это будет равносильно пропуску всех слившихся растений кроме одного.
- Ложное растение. Пятно возникло там, где растения нет, например, на затенённом участке.
- Распадение. Одно растение порождает несколько пятен, возникают лишние пятна.

В результате при подсчёте числа растений возникают ошибки двух типов — пропуск растений и их ошибочное детектирование. Для оценки эффективности предложенного алгоритма обозначим общее число растений потерянных за счёт пропусков и склейки символом $E-$, а общее число «лишних» пятен, получившихся за счёт ложных растений и распадения символом $E+$. Число ошибочных решений, принятых алгоритмом $Er = (E+) + (E-)$, а ошибка в определении числа растений $E = (E+) - (E-)$, и E может оказаться существенно меньше, чем Er . Настраивая алгоритм, нужно учитывать значение E , которое определяет фактическую точность алгоритма.

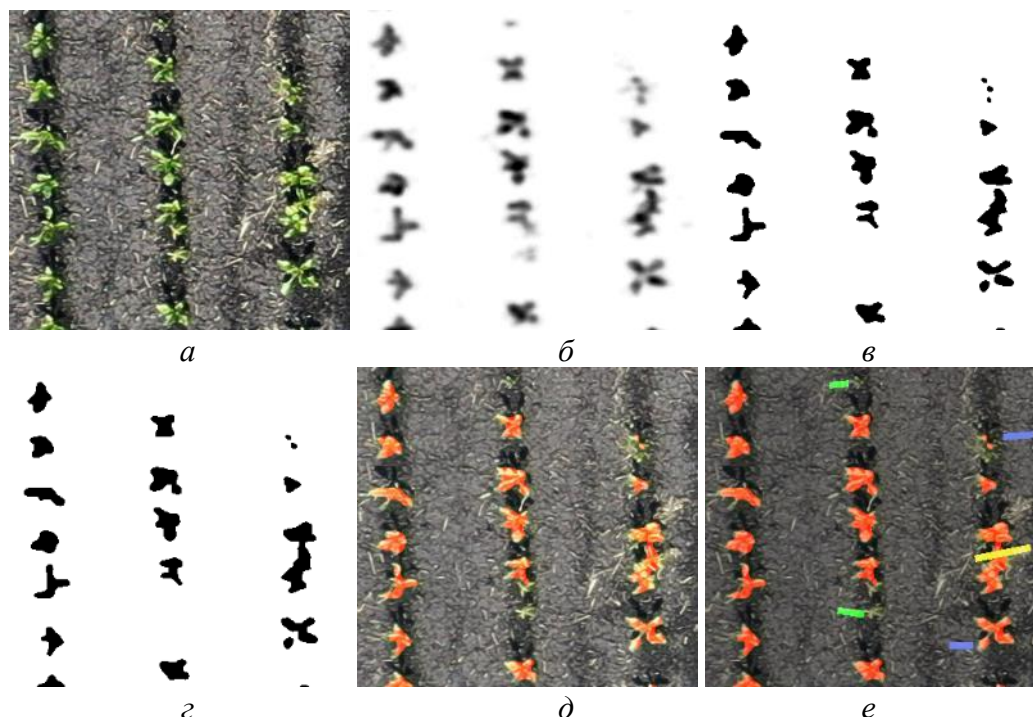


Рисунок 2.1.2.2 — Демонстрация процесса обработки изображения с рисунка 2.1.2.1, показан небольшой фрагмент поля: *а* — исходное изображение; *б* — «индекс зелёного» после пространственной фильтрации (темнее — большее значение); *в* — пятна после пороговой операции; *г* — пятна после морфологической операции (см. второе пятно во втором столбце и два больших пятна в третьем) и удаления мелких пятен (одно из трёх в третьем столбце); *д* — найденные пятна наложены как красные на исходное изображение; *е* — цветными полосками отмечены пропущенные растения (зелёным), лишние пятна (синим) и слившиеся пятна (жёлтым)

Оценка качества работы алгоритма происходила следующим образом. На тестовом снимке (см. рисунок 2.1.2.1), алгоритм выделил пятна общим числом N_a . Далее эксперт вручную проанализировал полученные пятна и отметил ошибки — пропущенные, склеенные, ложно отмеченные и распавшиеся пятна. Таким образом, была получена экспертная оценка числа растений на снимке, $N = 2423$ растения. Найдено пятен $N_a = 2370$, пропущено $N_p = 103$, склеенных $N_s = 29$, ложно отмеченных $N_e = 0$, и ложных пятен от распада $N_r = 79$, а значит $(E-) = N_p + N_s = 132$, $(E+) = N_e + N_r = 79$, $E = -53$, $Er = 211$. Таким образом, относительная погрешность алгоритма $e = E/(N_a - E) = 2,2 \%$. Общее число ошибочных решений $Er/(N_a - E) = 8,7 \%$. Необходимо учитывать, что алгоритм рассчитан на обработку изображений без наличия на них сорняков, и таким образом, сорняки являются источниками ошибочного распознавания. В результате экспертного анализа снимка 8 сорняков было распознано в качестве культурного растения, однако это слабо влияет на величину ошибки. Разрешение снимка оказалось 3,75 мм/пикс, площадь снимка 280,72 кв. м (почти в 30 раз больше стандартного участка определения густоты) и густота растений 84,43 тысяч на гектар. Эти результаты приведены в таблице 2.1.2.1 (первая строка).

Таблица 2.1.2.1. Результаты тестирования по двум снимкам

№	Пятен N	Пропуск N_p	Склеены N_s	Ложные N_e	Распад N_r	Ошибка E , %		Ошибочных решений Er , %		Густота, тыс/га
1	2423	103	29	0	79	-53	2,2	211	8,7	84,43
2	2772	102	45	0	86	-61	2,2	233	8,4	106

Для повышения эффективности работы алгоритма его параметры варьировались с целью обеспечения баланса между ошибками пропуска и ложного обнаружения ($E+$ и $E-$), которые должны быть близки. Необходимо было также оценить устойчивость параметров алгоритма. Большое значение имел способ определения «зелёных» пикселей, а изменение пороговых значений не оказывало существенного влияния на результат работы алгоритма. На графике, иллюстрирующем устойчивость алгоритма (рисунок 2.1.2.3), показано, как меняется число найденных пятен N при изменении порогового значения «по цвету» T (в работе было использовано значение $T = 14$).

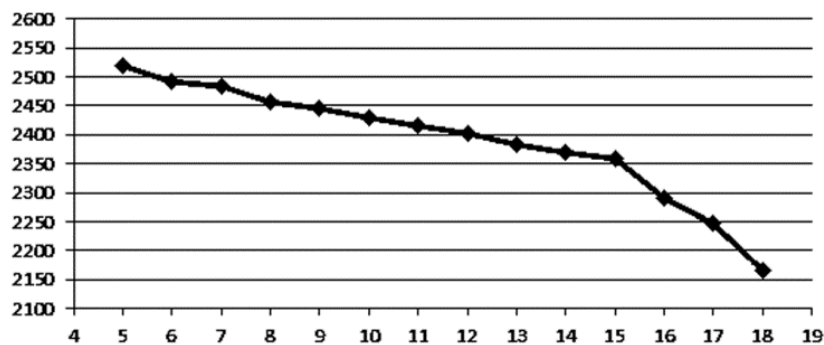


Рисунок 2.1.2.3 — По оси ординат — число найденных «пятен», а по оси абсцисс — величина порога

График иллюстрирует ухудшение результатов обнаружения участков культурной растительности только на 10% при существенном изменении порога T . Изменение других параметров около их оптимальных значений сказывается на результате ещё меньше.

Пороговые значения d и T_s выбирались исходя из минимального размера растения на снимке, которое нужно принимать в расчёт. Радиус морфологических операций r должен быть достаточно большим, чтобы слить части одного растения и не сливать соседние растения. Поскольку расстояние между растениями в рядке 19 см, больший диаметр их кроны должен быть меньше 18 см, чтобы растения не перекрывались, не сливались на изображении.

С другой стороны, отставшие в развитии растения не должны быть слишком маленькими. Экспертным путём установлено, что их размер (меньший диаметр) должен быть больше 3 см. Учитывая, что разрешение снимка около 3,5 мм/пикс, алгоритм мог обнаружить растения размером больше 8 пикселей и диаметром меньше 50 пикселей.

При обработке с теми же параметрами снимка другого участка того же поля (на этом изображении 9 сорняков), получен очень похожий результат (таблица 2.1.2.1, вторая строка). Разрешение этого снимка оказалось 3,58 мм/пикс, площадь 255,84 кв. м и густота растений получилась 106 тысяч на гектар, т.е. на 25,5 % больше, чем на первом снимке.

Густоту растений можно определить с помощью следующей последовательности действий оператора алгоритма.

1. Оператор просматривает на экране снимки поля и выбирает снимок, который получен в надир с разрешением примерно 3,5 мм/пикс (для использованной съёмочной камеры это около 30 горизонтальных рядков или 40 вертикальных). На снимке должен быть участок поля, засеянный и не заросший сорняками. Если необходимо, оператор может маскировать некоторые участки снимка, которые не подходят для дальнейшей работы.
2. Оператор проводит на экране линии вдоль 3–4 соседних рядков, как показано на рисунке 2.1.2.4 (левый верхний фрагмент поля с рисунка 2.1.2.1). Это позволяет, зная реальное расстояние между рядками, рассчитать разрешение снимка для определения площади и адаптации геометрических параметров расчёта.
3. Оператор отправляет снимок на автоматический поиск и подсчёт растений вышеописанным алгоритмом.

4. Оператор получает результат и может произвести следующие операции:
- оценить общий результат поиска растений (насколько корректно идентифицированы растения) и отбраковать непригодный результат;
 - сохранить результат в базе данных (характеристики снимка, выявленное число растений, площадь участка с учётом маскированных частей);
 - сделать пояснительные заметки.

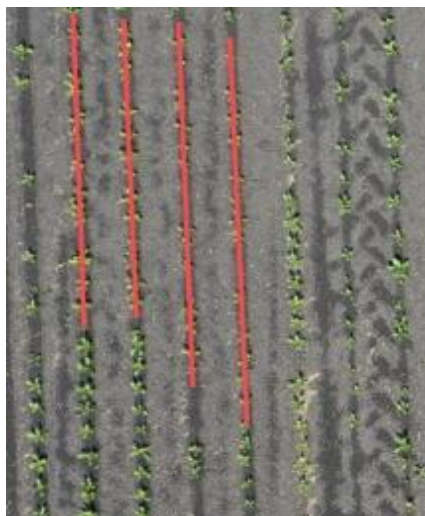


Рисунок 2.1.2.4 — Пример проведения оператором линий вдоль рядков

Разработанный алгоритм демонстрирует достаточную точность и устойчивость на имеющихся в настоящее время серии снимков с БПЛА, однако необходимо его дальнейшее тестирование в различных условиях.

2.2 Развитие методов обработки данных ДЗЗ, направленных на получение устойчивых нормализованных наборов и рядов данных для оценки различных характеристик почвенно-растительного покрова

В рамках выполненных работ в отчётном году, направленных на получение временных серий характеристик растительного покрова, был разработан метод ежегодной оценки проективного покрытия древесного полога леса. Проективное покрытие полога леса является характеристикой структуры лесов, определяемая как отношение суммы площадей горизонтальных проекций крон деревьев в древостое к общей площади участка, на котором произрастает древостой. Проективное покрытие древесного полога леса характеризует степень использования деревьями пространства и выражается как в процентах от площади, так и в долях единицы. Изменение проективного покрытия напрямую свидетельствует об изменениях, происходящих в лесах, следовательно, для выявления последних необходимо иметь оценки проективного покрытия полога леса в динамике.

В качестве основного источника данных для оценки проективного покрытия полога леса использовались спутниковые данные MODIS. Наличие непрерывно пополняемого архива данных ежедневных наблюдений поверхности прибором MODIS для всей территории России начиная с 2000 года дают возможность проводить анализ временных серий спутниковых наблюдений. На основе ежедневных данных прибора MODIS в ИКИ РАН разработан алгоритм построения безоблачных композитных изображений с наличием снежного покрова на земной поверхности. Для исключения влияния облачности и теней на данные спутниковых наблюдений алгоритм использует классификацию измерений на основе спектрального индекса снега NDSI (Normalized Difference Snow Index) и значений коэффициентов спектральной яркости в спектральном канале MODIS 0,46–0,48 мкм, а также применение геометрической модели теней. Дальнейшие шаги алгоритма включают

статистическую фильтрацию временного ряда в красном и ближнем ИК-канале от остаточных шумов и полиномиальную интерполяцию для восстановления пропущенных значений коэффициентов спектральной яркости регулярного временного ряда. В силу особенностей образования устойчивого снежного покрова на территории России, композитные изображения строятся за период с января по апрель отдельно взятого года. Для устранения межгодовых неоднородностей, вызванных глубиной и состоянием снежного покрова, композитные изображения проходят процедуру взаимной локально-адаптивной нормализации на основе территорий, непокрытых лесом. В результате работы алгоритма строится однородный временной ряд композитных изображений с наличием снежного покрова, который может быть использован в широком спектре задач, касающихся оценки характеристик лесного покрова.

Значения проективного покрытия древесного полога леса тесно связаны с величинами коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) земной поверхности (рисунок 2.2.1). Проведённые эксперименты позволяют утверждать, что наилучшую зависимость со значениями проективного покрытия древесного полога леса имеют спутниковые данные, полученные в зимнее время при наличии снежного покрова на земной поверхности. Данный факт вызван увеличением различия между спектральными свойствами стволов и крон деревьев и подстилающей поверхности в зимний период и, одновременно, уменьшением внутриклассовых различий между разными типами подстилающей поверхности из-за нахождения под снегом.

Для оценки проективного покрытия древесного полога леса в качестве входных данных выбраны следующие продукты, полученные на основе данных дистанционного зондирования Земли:

- временной ряд радиометрически нормализованных зимних композитных изображений MODIS с 2001 по 2019 год;
- данные TreeCover 2000 и 2010;
- временной ряд ежегодных карт покрытых и непокрытых лесом земель, построенный на основе карт растительности России.

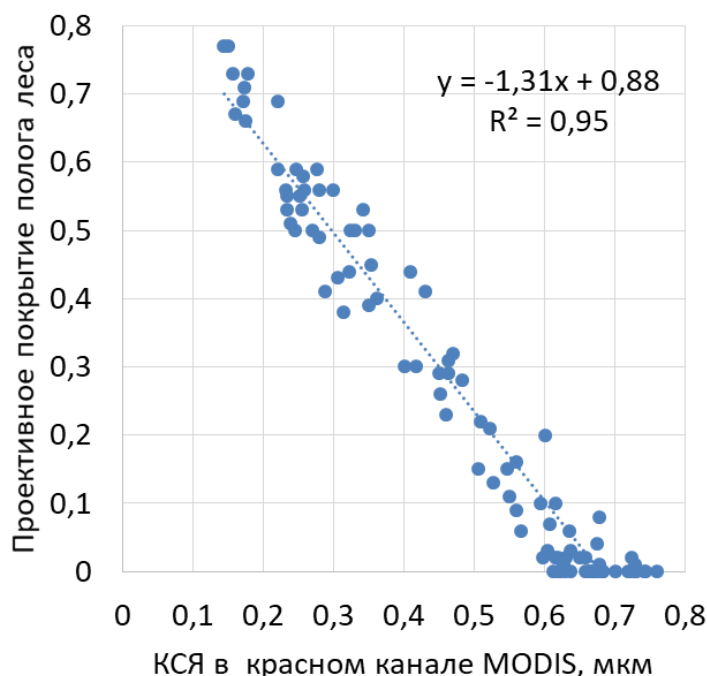


Рисунок 2.2.1 — Пример зависимости КСЯ спектральных каналов MODIS и проективного покрытия крон

Блок-схема метода оценки проективного покрытия древесного полога леса представлена на рисунке 2.2.2 и состоит из трех основных этапов. На первом этапе происходит построение пространственно-распределённой обучающей выборки значений проективного покрытия полога леса. На втором этапе на основе полученной выборки выполняется построение локализовано-параметризованной регрессионной модели между значениями КСЯ в красном канале данных и значениями проективного покрытия древесного полога леса. На третьем этапе полученная модель применяется ко всему радиометрически нормализованному временному ряду зимних композитных изображений MODIS для восстановления оценок проективного покрытия полога леса на территории страны.

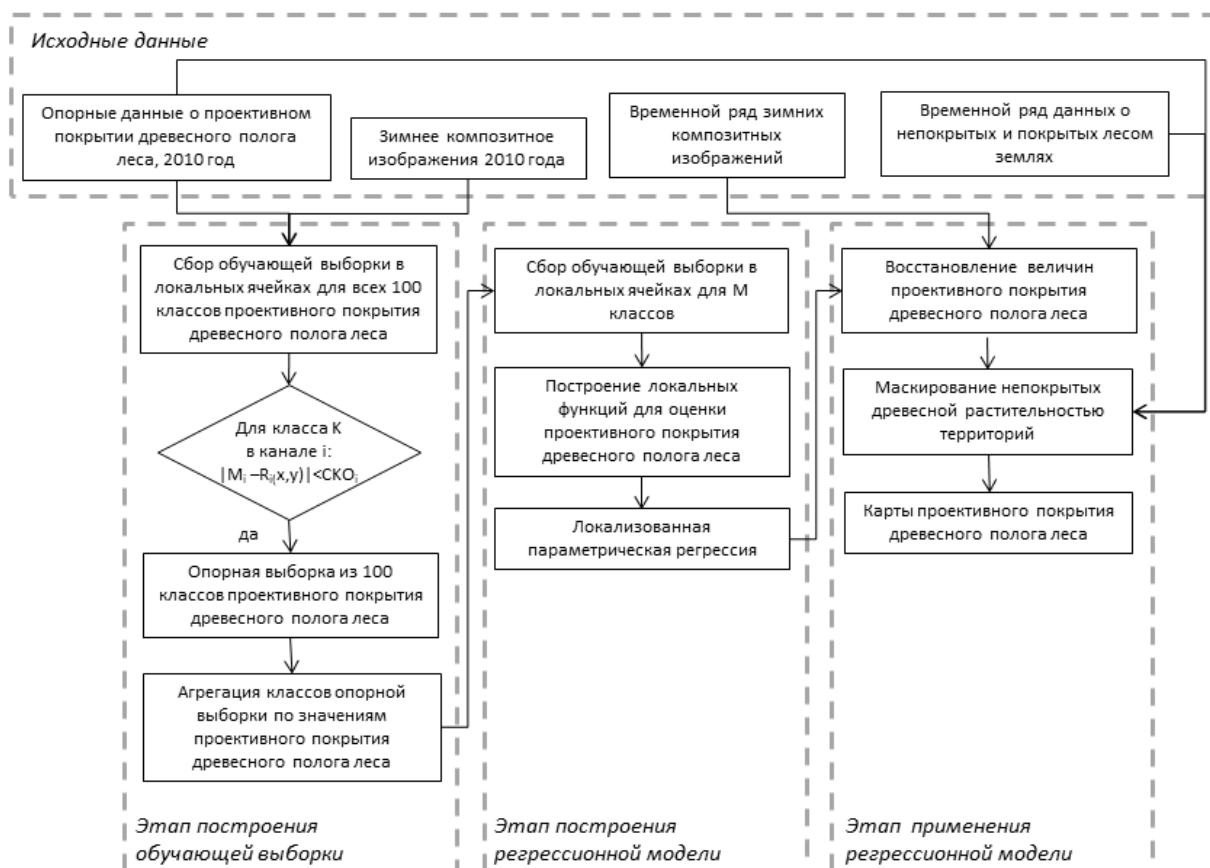


Рисунок 2.2.2 — Блок-схема оценки проективного покрытия полога леса по данным ДЗЗ

Первый этап обработки данных направлен на подготовку опорной выборки с информацией о проективном покрытии древесного полога леса. Для построения опорной выборки используется глобальная карта проективного покрытия древесного полога леса TreeCover 2010 на основе данных Landsat. Эти данные отражают плотность покрытия кронами деревьев в пикселе по состоянию на 2010 год с пространственным разрешением 30 м. Продукт имеет следующие особенности:

- однократное покрытие, датируемое 2010 годом;
- временная неопределённость тематической информации в пикселе достигает 5 лет;
- практически полное отсутствие значений выше 90%;
- наличие шумов, вызванных сбоем в работе сенсора ETM+.

Для дальнейшего использования данные были приведены к пространственному разрешению данных MODIS. Поскольку исходный информационный продукт может включать различного рода погрешности, для его использования в качестве опорной выборки проводится процедура фильтрации. В качестве признаков при фильтрации используются измеренные в красном и ближнем ИК-диапазонах спектра в условиях

наличия снега на земной поверхности КСЯ различных классов лесного покрова. Территория разбивается на равноплощадные ячейки размером 23×23 км. Для каждого класса обучающей выборки, соответствующего определенному значению проективного покрытия древесного полога леса, локально в расширяющемся окне относительно каждой ячейки собираются статистические показатели (вычисляется средняя величина коэффициента спектральной яркости M и среднее квадратичное отклонение σ (СКО)). Значения яркости в пикселе R сопоставляются с его локальным средним значением M в ячейке. Если R не находится в пределах $(M - \sigma; M + \sigma)$, то точка на данном этапе исключается из дальнейшего рассмотрения. По окончании процедуры фильтрации и объединению её результатов в обоих спектральных каналах формируется опорная выборка для 100 классов проективного покрытия древесного полога леса. Для уменьшения среднего радиуса окна сбора обучающей выборки, пиксели обучающей выборки объединяются в 10 классов с шагом 10 % проективного покрытия древесного полога леса согласно правилу: в класс i падают пиксели с проективным покрытием древесного полога леса (TC): $10(i - 1) < TC \leq 10i$.

На втором этапе в равноплощадных ячейках регулярной сети для каждого класса проективного покрытия древесного полога леса локально в расширяющемся окне относительно каждой ячейки собирается обучающая выборка. На основе полученных обучающих выборок для каждой ячейки восстанавливаются уравнения линейной регрессии между значениями КСЯ и проективного покрытия древесного полога леса:

$$TC(x, y) = a_{ij}R(x, y) + b_{ij},$$

где (x, y) — координаты пикселя внутри ячейки с координатами (i, j) , a_{ij} и b_{ij} — коэффициенты уравнения локальной регрессии для ячейки регулярной сети с координатами (i, j) , $R(x, y)$ — значение КСЯ в красном спектральном диапазоне для пикселя с координатами (x, y) . Проведённые эксперименты показали, что оценённая регрессионная зависимость имеет коэффициент детерминации более 0,8 для 94 %, более 0,7 для 98 % территории.

Третий этап заключается в применении полученной локально параметризованной модели к временному ряду спутниковых данных для восстановления соответствующих значений проективного покрытия древесного полога леса. Важной частью этапа является устранение ошибок определения проективного покрытия древесного полога леса для территорий, непокрытых древесной растительностью. Для маскирования непокрытых лесом территории используется объединение маски леса из карты покрытых и непокрытых земель и маски леса, построенной на основе данных TreeCover 2000 с порогом 10 %. Результатом обнуления проективного покрытия древесного полога леса на непокрытых древесной растительностью участках являются итоговые карты проективного покрытия древесного полога леса. На заключительном шаге проводится фильтрация локальных экстремумов временного ряда для снижения уровня случайных шумов. В результате использования описанного выше метода и данных MODIS построен временной ряд ежегодных измерений проективного покрытия древесного полога лесов России за период с 2001 по 2019 годы (рисунок 2.2.3).

Предложенный метод позволяет поводить регулярные оценки проективного покрытия полога леса на территории страны и открывает возможность непрерывного наблюдения за лесами в течение продолжительного времени.



Рисунок 2.2.3 — Пример карты проективного покрытия древесного полога леса по данным MODIS, 2017 год

2.3 Развитие методов дистанционного мониторинга динамики наземных экосистем с использованием физических и эколого-математических моделей

Для развития методов дистанционного мониторинга наземных экосистем были проведены эксперименты, направленные на исследование возможности получения спутниковой оценки содержания азота и воды в зелёной биомассе сельскохозяйственной растительности на основе спутниковых индикаторов, полученных по данным прибора MSI (Sentinel-2) и OLI (Landsat-8). В рамках эксперимента биофизические характеристики растительности синхронно оценивались в лаборатории и по данным спутниковых приборов. Для подспутникового эксперимента были задействованы 8 полей, занятые сахарным тростником в период конца 2019 – начала 2020 года, 4 из которых были использованы в эксперименте с контролем дефицита воды (четыре страты с нормой полива от 25 до 100 % с шагом 25 %), и 4 других (с аналогичным стратифицированием) — в эксперименте с контролем дефицита азота (рисунок 2.3.1).

Для проведения эксперимента был составлен календарь дат съёмки экспериментальных полей указанными спутниковыми системами, наземные обследования были синхронизованы с календарём. Во время полевых работ для каждого из полей (страт) проводился деструктивный забор образца биомассы третьего сверху листа растения сахарного тростника в нескольких (от 5 до 10) различных точках каждой страты, его упаковка в герметичную ёмкость и отправка в лабораторию. В лаборатории измерялись показатели концентрации воды в биомассе (в % на сухое вещество) и концентрация азота (в % на сухое вещество), показатель рассчитывался для каждой страты осреднением всех оценок, полученных в границах страты.

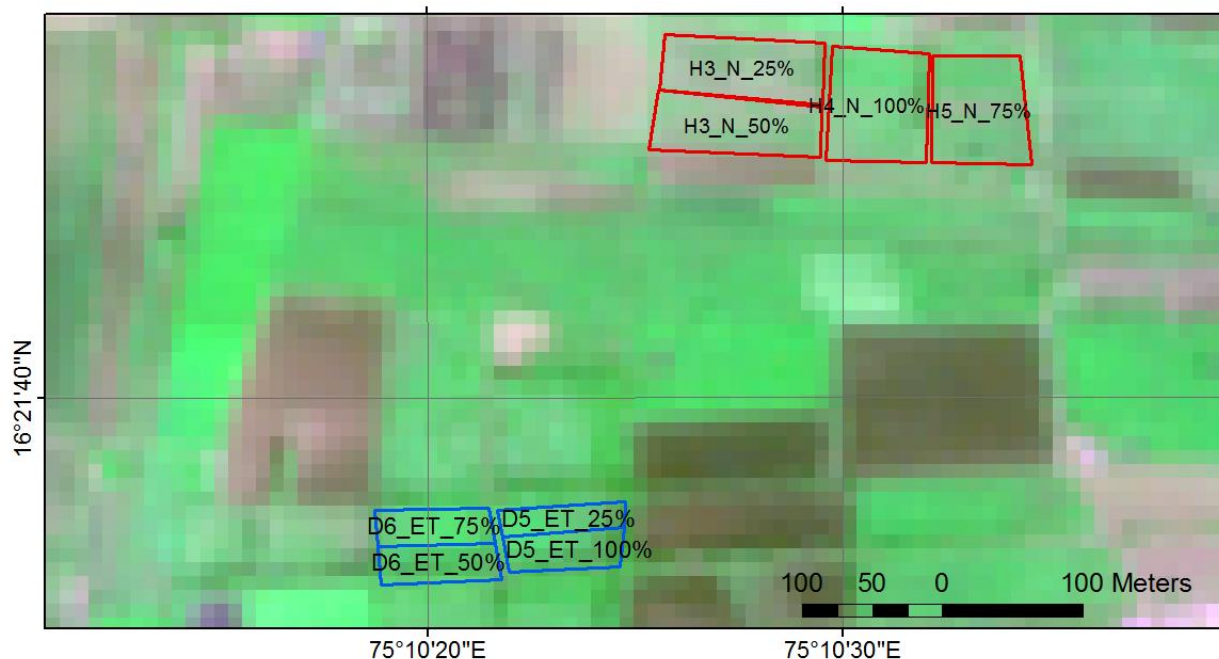


Рисунок 2.3.1 — Взаимное расположение участвующих в эксперименте полей сахарного тростника с контролем дефицита водного (синий) и азотного (красный) питания, подписи отражают уровень обеспечения водой и азотным удобрением в процентах

Sentinel-2A/B выходов в поле для измерения количества азота и 7 согласованных с пролётом спутника Landsat-8 выходов для измерения количества воды. Из-за ограничений, связанных с пандемией, эксперимент был остановлен досрочно и необходимой статистической мощности лабораторных измерений достичь не удалось. Кроме этого, более половины лабораторных измерений было невозможно использовать для решения задачи оценки водного и азотного дефицита из-за экранирования экспериментальных полей отдельными облаками в некоторые даты полевых обследований. В частности, из-за сильной скученности и небольших размеров экспериментальных полей даже относительно редкая фрагментарная облачность могла сделать недоступным наблюдение сразу всех экспериментальных полей. Таким образом, в работе не получилось задействовать более 50% лабораторных измерений количества азота и около 40% измерений количества воды. Ввиду этого, в процессе построения основанной на множестве исследуемых индикаторов модели было невозможно использовать классические методы для снижения размерности пространства предикторов.

При построении моделей для дистанционной оценки количества связанного азота и воды оценивалась информативность основанных на полученных по данным прибора MSI мультиспектральных индикаторах. При оценке азота акцент был сделан на индикаторах, использующих, кроме прочих, измерения в информативных для этой задачи каналах «красного края» прибора MSI (каналы 5, 6, 7, 8A). Общий список индексов включает в себя CVI, ClGreen, GNDVI, REI, SAVI, NDVI, EVI2, NDWI, CL, MCARI(5-8A), NDRE(5-8A), MTCI. Обзор публикаций показывает, что ни один из вегетационных индексов, в том числе, основанных на «красном крае», в чистом виде не подходит для решения этой задачи и поэтому исследование фокусировалось на использовании их комбинаций. Ввиду большого количества индексов и, следовательно, их комбинаций, а также крайне небольшого количества данных лабораторных измерений, предварительная оценка информативности каждого из индикаторов производилась независимо, чтобы избежать переобучения модели.

При оценке фиксировались характеристики устойчивости линейной регрессионной модели в терминах значений RMSE (среднеквадратичная ошибка) модели, коэффициента детерминации линейной связи, F-статистики и уровня значимости модели (p-value). Кроме этого, дополнительно независимо тестировались вторые степени этих индикаторов в

полиномиальной модели с дополнительной оценкой скорректированного (несмещённого) коэффициента детерминации. Индикаторы ранжировались в соответствии с параметрами полученной на их основе модели: RMSE минимизировалась, коэффициент детерминации максимизировался, F-статистика максимизировалась, p-value минимизировалось. В результате был получен рейтинг наиболее информативных индикаторов, наилучшим образом объясняющих вариабельность количества азота на экспериментальных полях. С учётом малого числа имеющихся экспериментальных измерений, максимальное число предикторов в модели было установлено не более трёх для снижения вероятности переобучения. С учётом результатов оценки попарной коррелированности наиболее информативных предикторов и исключения попарно-коррелированных комбинаций, наиболее устойчивыми оказались модели, основанные на предикторах MCARI8A, MCARI5 и GNDVI.

Оценки информативности индикаторов в терминах среднеквадратичной ошибки и уровня значимости индивидуальных моделей приведён на рисунке 2.3.2.

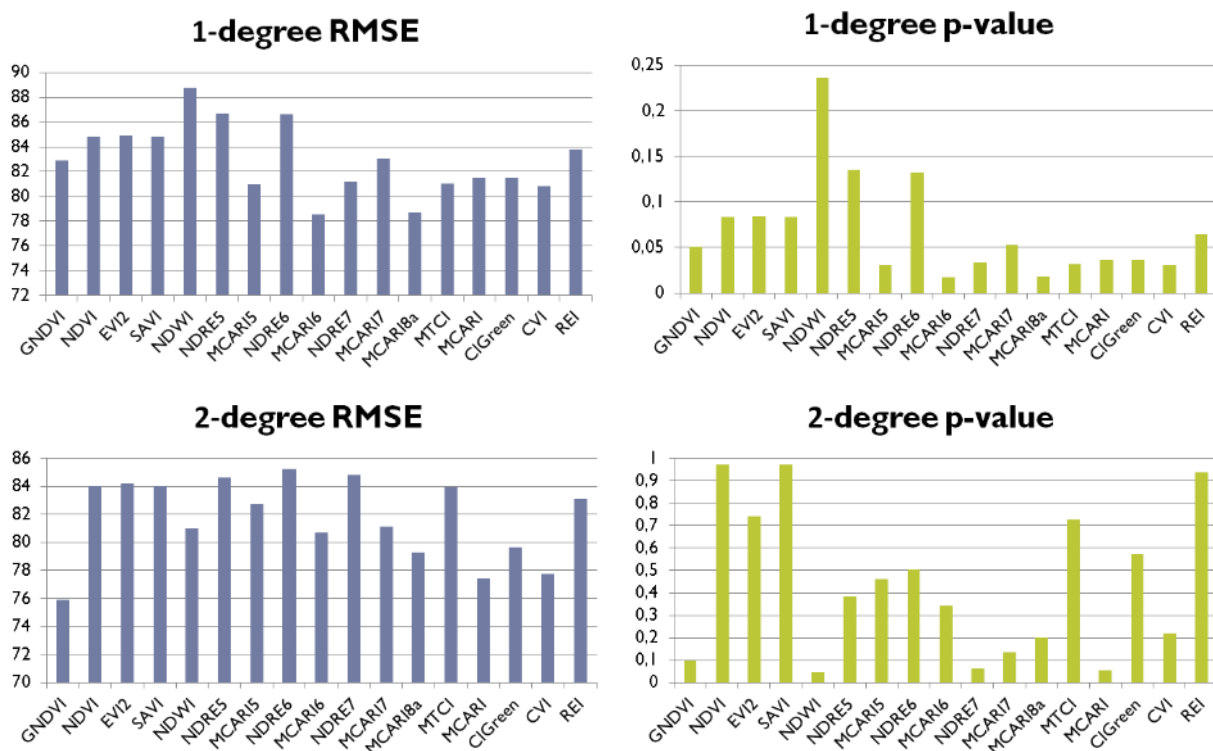


Рисунок 2.3.2 — Среднеквадратичная ошибка (слева) и уровень значимости (справа) индивидуальных моделей, построенных на основе первой степени (вверху) и второй степени (внизу) индикаторов содержания азота

Полученная в результате множественная регрессионная модель, основанная на вышеуказанных индикаторах, выглядела следующим образом (рисунок 2.3.3):

$$N = -0,055MCARI8A + 2,23MCARI5 + 700,08GNDVI + 237,25GNDVI^2 - 148,32.$$

Аналогичный подход использовался для построения модели для дистанционной оценки количества воды в листьях. В этом случае лабораторные измерения количества воды были согласованы с пролётом спутника Landsat-8, поэтому построение модели могло происходить только на основе индикаторов, полученных по данным прибора OLI с разрешением 30 м. В качестве предикторов исследовались следующие индексы, которые, согласно обзору мирового опыта, часто использовались для оценки влажности зелёных

листьев и мониторинга засухи: EVI2, SAVI, NDWI, NDDI, GVMI, NMDI, MSI (рисунок 2.3.4). Наиболее информативными предикторами оказались NDDI и NDWI.

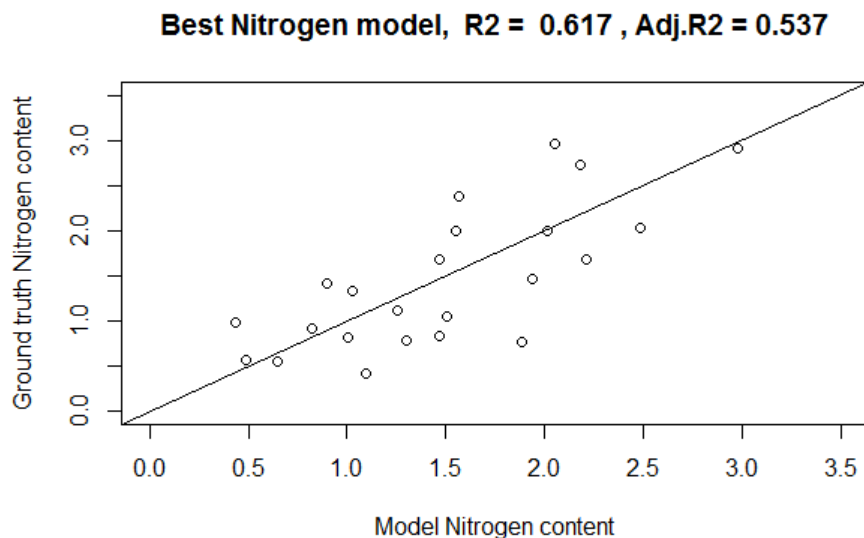


Рисунок 2.3.3 — Оптимальная множественная регрессионная модель для дистанционной оценки относительного количества азота, полученная по результатам подспутникового эксперимента (горизонтальная ось) в сравнении с лабораторными измерениями (вертикальная ось)

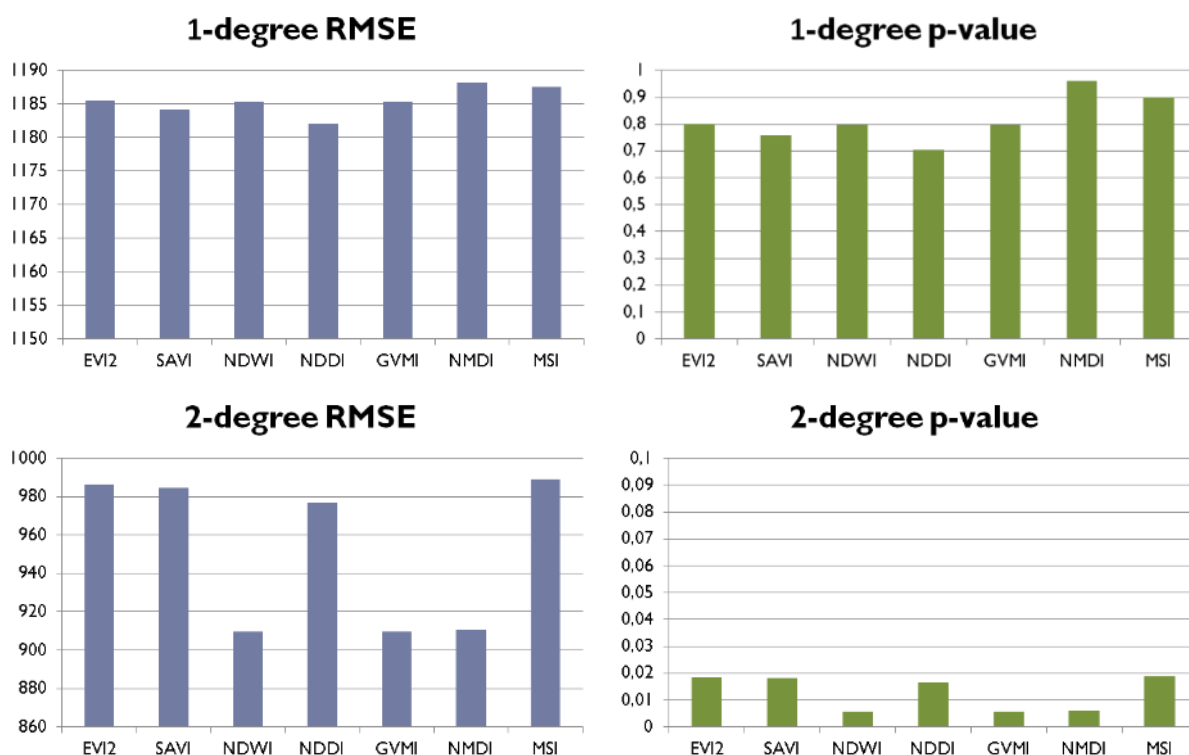


Рисунок 2.3.4 — Среднеквадратичная ошибка (слева) и уровень значимости (справа) индивидуальных моделей, построенных на основе первой степени (вверху) и второй степени (внизу) индикаторов содержания воды

Множественная регрессионная модель для оценки относительного количества воды в листьях растений (рисунок 2.3.5):

$$W = 499,73\text{NDDI} - 99,76\text{NDWI} - 30,46\text{NDWI}^2 - 229,65.$$

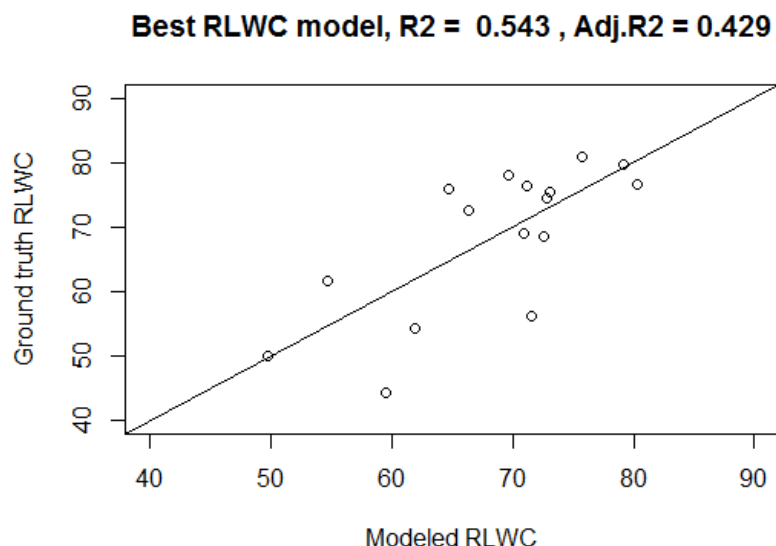


Рисунок 2.3.5 — Оптимальная множественная регрессионная модель для дистанционной оценки относительного количества воды в листьях (RLWC, relative leaf water content, %), полученная по результатам подспутникового эксперимента (горизонтальная ось) в сравнении с лабораторными измерениями (вертикальная ось)

Следует отметить, что ввиду крайне небольшого количества данных для калибровки модели водного стресса, а также полное отсутствие лабораторных измерений с относительным количеством воды ниже 40 %, модель ненадёжно прогнозирует низкие значения содержания воды в листьях. Необходимо использование дополнительных калибровочных данных для дальнейшего улучшения модели.

Сравнительные тесты показали, что значения в каналах SWIR1-2 и NIR приборов OLI и MSI практически совпадают ($R^2 > 0,95$) при одновременных (с разницей в несколько часов) съёмках одинаковых участков земной поверхности на территории региона исследования. Таким образом, необходимые каналы для расчёта характеристик дефицита воды на плантациях имеются и у спутниковой системы Sentinel-2.

2.4 Формирование и анализ многолетних рядов характеристик наземных компонент биосферы для исследования глобальных изменений, решения задач рационального природопользования и устойчивого развития

2.4.1. Анализ рядов нормированных показателей NDVI посевов для оценки состояния и динамики сельскохозяйственных культур

В течение 2020 года с использованием сервисов семейства «Созвездие-Вега» регулярно осуществлялась оценка развития посевов озимых и яровых сельскохозяйственных культур на территории России. Мониторинг осуществлялся на основе карт размещения посевов и значений вегетационного индекса NDVI, полученных по данным дистанционного зондирования Земли, а также на основе метеорологических параметров. Особенностью подхода, применяемого при оценке состояния культур, является сопоставление показателей сезонной динамики вегетационного индекса NDVI с аналогичными данными предыдущих лет. Это позволяет формировать многолетнюю норму сезонного изменения NDVI, относительно которой проводится анализ отклонений.

Необходимо отметить, что более высокие или низкие значения NDVI не всегда характеризуют более хорошее или плохое состояние и развитие посевов. Они, в частности,

могут быть связаны со сдвигом сезона на более ранние или поздние сроки из-за сложившихся метеорологических условий.

В связи с этим в 2020 году был реализован и применён инструмент, позволяющий нормировать временную динамику значений индекса NDVI (и различных других показателей, в том числе метеорологических) с учётом временного хода накопленных активных температур в различные годы. Например, при нормировке по среднемноголетнему ходу накопленной активной температуры временные шкалы различных лет преобразуются так, чтобы в каждой точке преобразованной шкалы накопленная активная температура анализируемого года равнялась накопленной активной среднемноголетней температуре. Это позволяет сравнивать различные параметры, наблюдавшиеся в анализируемом году (например, NDVI), не со значением в календарные даты разных лет (или усреднёнными на конкретную дату разных лет значениями), а в даты, в которые наблюдались одинаковые значения накопленных активных температур. Благодаря этому можно нивелировать особенности хода температуры в различные вегетационные сезоны. Используя такую перенормировку, можно, в частности, получать информацию об отклонении текущих значений NDVI от среднемноголетних нормальных значений, из которых исключены особенности конкретного вегетационного сезона (его отставание или опережение). Это позволяет анализировать информацию об отклонениях от норм на сопоставимых стадиях развития растений и более объективно представляет информацию о состоянии посевов.

В текущем году инструмент продемонстрировал свою эффективность на примере мониторинга озимых культур в связи с особыми погодными условиями на территории Европейской части России в зимний период 2019–2020 годы. После засушливой осени последовала тёплая и бесснежная зима. Это привело к тому, что на юге Европейской территории России озимые культуры находились в состоянии вегетации в течение всего этого периода. Благодаря этому, к началу февраля 2020 года значения NDVI озимых культур в большинстве южных субъектов достигли более высоких значений, чем в среднем за последние годы, а возобновление активного развития посевов началось на несколько (3–5 в различных регионах) недель раньше.

Наглядным примером возможностей, которые даёт инструмент нормирования временной динамики значений индекса NDVI, может служить ситуация, представленная на рисунке 2.4.1.1. Сравнивая результаты, получаемые на основе не нормированных (рисунок 2.4.1.1, *слева*) и нормированных (рисунок 2.4.1.1, *справа*) на ход накопленных активных температур данных, можно сделать вывод о том, что в конце марта 2020 года, несмотря на повышенные значения индекса NDVI, озимые культуры во многих районах Ростовской области, Краснодарского края и Республики Крым развивались близко к многолетней норме, а в некоторых районах несколько хуже неё.

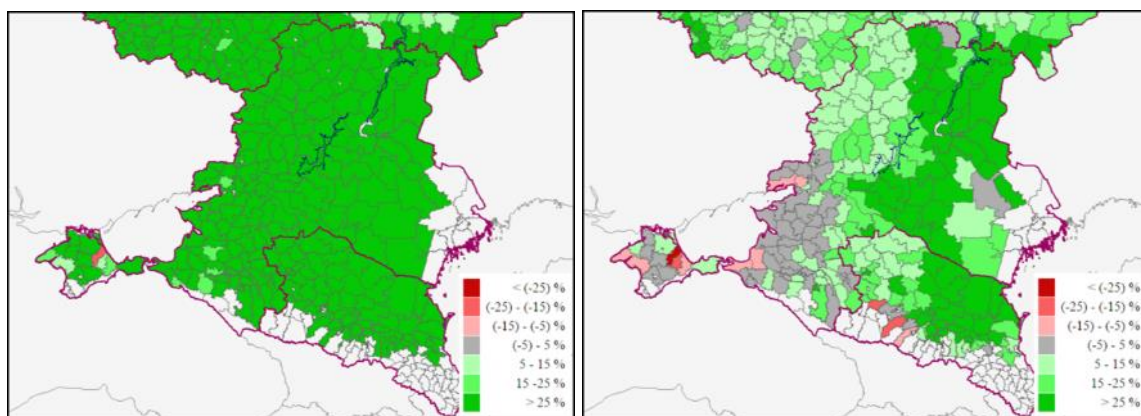


Рисунок 2.4.1.1 — Отклонение NDVI озимых в % от среднемноголетней нормы по состоянию на 13-ю неделю 2020 года (23–29 марта): *слева* — до нормировки по накопленной температуре, *справа* — после неё

Работа инструмента наглядно может быть продемонстрирована в виде графиков. Так, на рисунке 2.4.1.2 приведены графики NDVI, накопленных осадков и температуры в Каневском районе Краснодарского края за 2019 и 2020 годы до использования инструмента нормирования по значениям суммы активных температур 2019 года (*вверху*) и после нормировки (*внизу*).

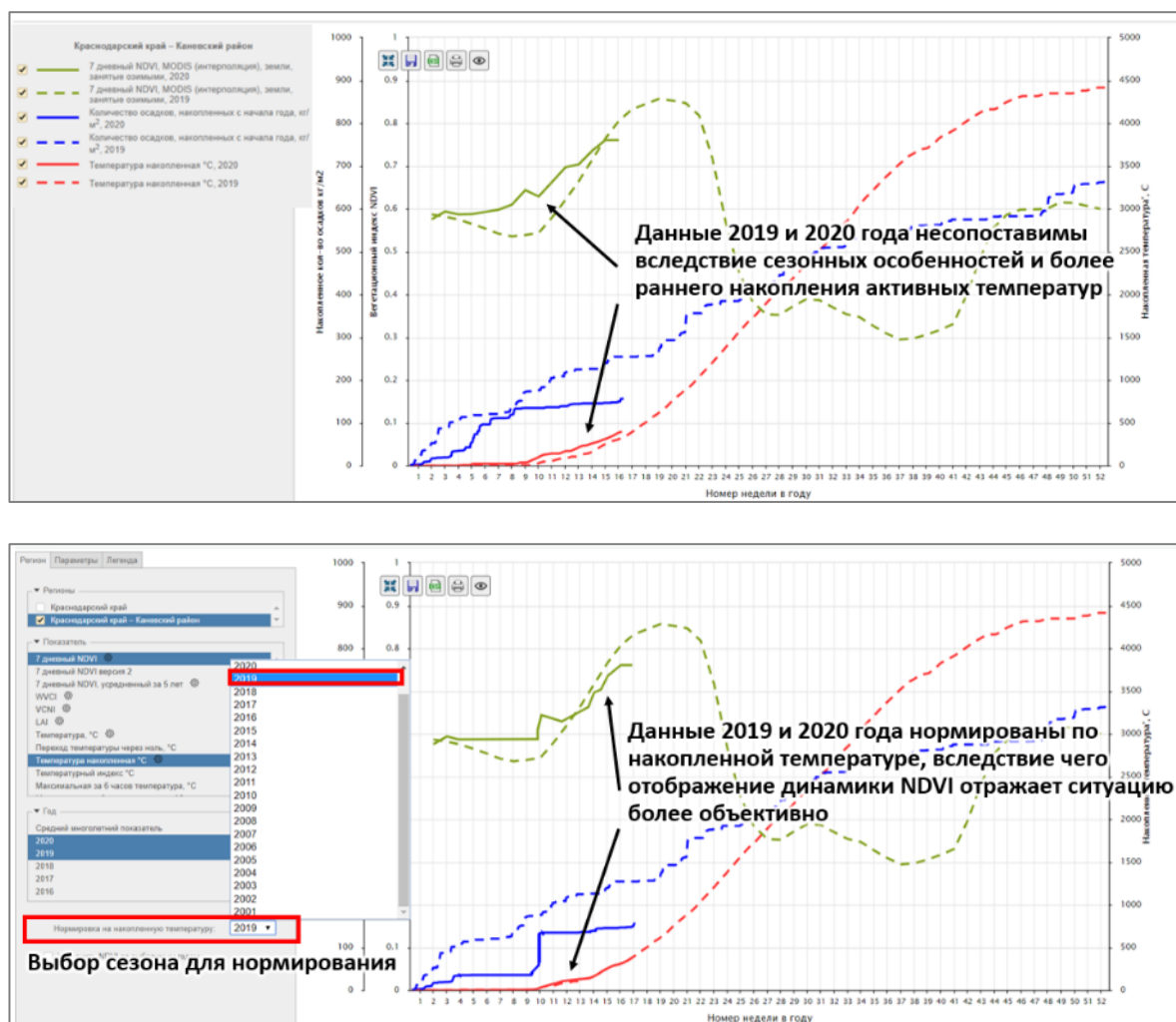


Рисунок 2.4.1.2 — Реализация инструмента нормирования временной динамики показателей в графическом интерфейсе сервисов Вега: вверху — до нормировки, внизу — после нормировки на накопленную температуру 2019 года

До использования инструмента нормирования временной динамики отклонение значений NDVI относительно 2019 года не отражает реальной ситуации с развитием посевов вследствие сдвига сезона в 2020 году. После нормирования становится очевидным, что показатели развития посевов (NDVI) в 2020 году отстают от показателей 2019 года, и при этом динамика их роста значительно медленнее динамики предыдущего года.

В результате анализа состояния посевов озимых и яровых культур были детектированы такие явления, как: недостаток почвенной влаги на юге России весной 2020 года; заморозки в Ставропольском и Краснодарском крае, республике Крым; засуха на территории юго-востока Европейской части России, на южном Урале и в Южной Сибири.

По результатам мониторинга в сельскохозяйственном сезоне 2019–2020 годов на Европейской территории России также была отмечена ситуация, при которой максимальные значения NDVI озимых культур в центральном регионе существенно

превосходили максимальные среднегодовые значения индекса. В южных регионах, напротив, максимумы NDVI 2020 года находились либо на уровне среднегодовых максимумов, либо ниже (рисунок 2.4.1.3).

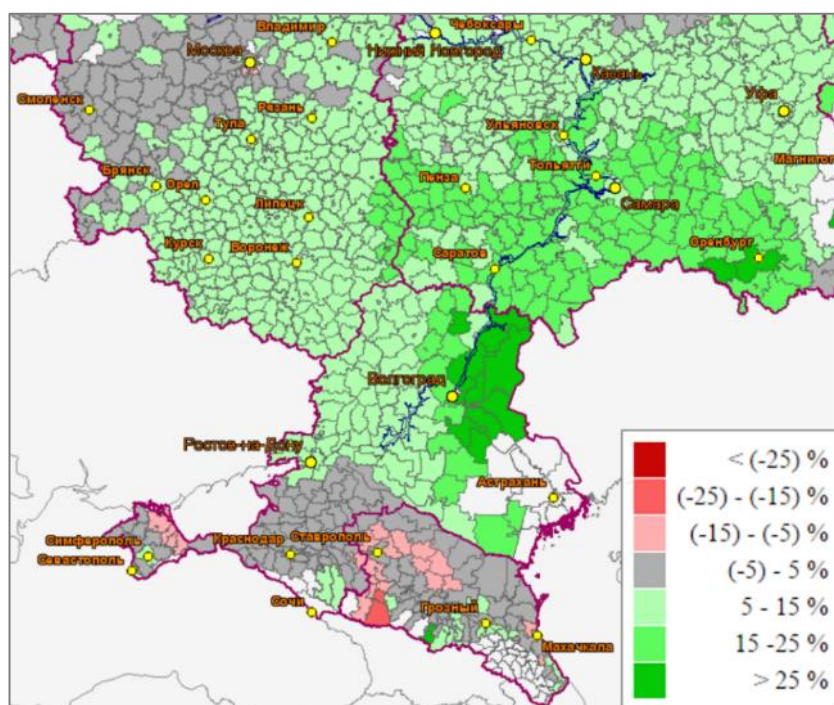


Рисунок 2.4.1.3 — Разница максимальных значений NDVI 2020 года и среднегодовых максимумов индекса для озимых культур Европейской части России

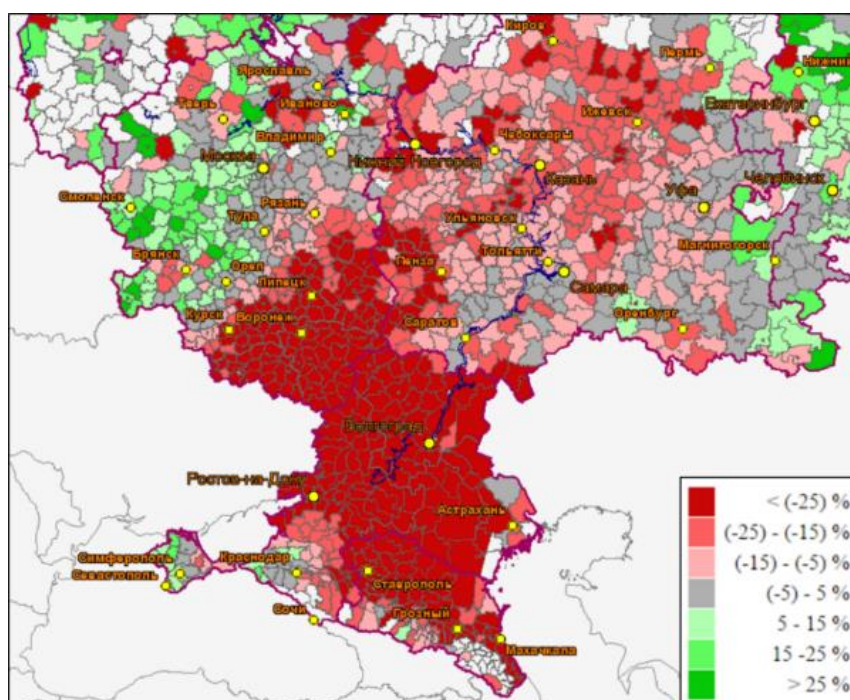


Рисунок 2.4.1.4 - Отклонение NDVI сельскохозяйственной растительности от многолетней нормы, 43-я неделя (19–25 октября) 2020 года

На основе проведённого анализа уже в июне 2020 г. были сделаны предположения о том, что урожайность озимых культур в южных регионах Европейской территории России (ЕТР) ожидается ниже среднегодовых значений, в то время как в центральных

регионах ЕТР и в Поволжье — выше. Определено, что значительное влияние на это оказало выпадение осадков в мае 2020 года, которое оказалось своевременным для посевов Центрального и Приволжского федеральных округов, но не смогло исправить ситуацию в ряде регионов Северо-Кавказского и Южного и федеральных округов.

Также проведён анализ состояния озимых культур под урожай 2021 года в осенний период 2020 года. Отмечено существенно более низкое значение NDVI относительно среднемноголетних значений (рисунок 2.4.1.4) и данных 2019 года для ряда регионов в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах, а также на юге Центрального и Приволжского округов. Анализ метеорологических данных показал, что наиболее вероятной причиной этого является отсутствие или недостаточное развитие всходов озимых культур, вызванное засухой. При этом ситуация, сложившаяся в 2020 году, является уникальной, так как за период наблюдений с 2001 года столь продолжительная осенняя засуха не наблюдалась. Несколько похожая ситуация была замечена только в 2014 и 2015 годах.

Заключение

Выполнение работ по теме «Мониторинг-Биосфера» проводилось в соответствии с утверждённым планом. В результате выполненных исследований и разработок в области спутникового мониторинга растительного покрова получили развитие методы восстановления временных серий мультиспектральных дистанционных характеристик земной поверхности. Разработан метод ежегодной оценки проективного покрытия древесного полога леса на основе данных прибора MODIS, который позволяет проводить регулярные оценки этой характеристики на территории страны. В рамках работ, направленных на мониторинг сельскохозяйственной растительности, был разработан инструмент, позволяющий нормировать временную динамику значений индекса NDVI и других показателей с учётом временного хода накопленных активных температур в различные годы. С помощью разработанного инструмента был проведён анализ состояния озимых культур под урожай 2021 года в осенний период 2020 года, который указал на отсутствие или недостаточное развитие всходов озимых культур, вызванное засухой. Для дистанционной оценки состояния и мониторинга сельскохозяйственной растительности были разработаны модели спутниковой оценки количества азота и воды в листьях и побегах зелёной биомассы в рамках организованного подспутникового эксперимента. В результате были получены множественные регрессионные модели для определения биофизических параметров растений на основе мультиспектральных спутниковых данных Sentinel-2 и Landsat-8. Для мониторинга всходов и оценки качества сева культурной растительности на основе высокодетальных снимков с БПЛА были разработаны и апробированы алгоритм и методика автоматизированной оценки густоты растений.

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

РАЗДЕЛ 3 МОНИТОРИНГ-КЛИМАТ

Введение

В настоящей главе отчёта представлены основные результаты, полученные в рамках работ по направлению «Мониторинг-Климат», определенных в плане НИР ИКИ РАН на 2019–2021 годы:

- развитие методов количественных исследований процессов переноса скрытого тепла и тепломассообмена в системе глобальной циркуляции атмосферы Земли на синоптических и климатически значимых масштабах, в том числе переноса из Атлантики в Арктику и из тропической зоны в антарктические регионы для изучения климатических и погодных изменений арктической и антарктической зон атмосферы Земли. Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 3.1 настоящей главы;
- развитие методов изучения крупномасштабных опасных природных явлений, в том числе вулканической активности и катастрофических природных пожаров. Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 3.2 настоящей главы.

Настоящий раздел посвящён описанию основных результатов, полученных при выполнении данных работ. Полученные в рамках работ 2020 года результаты также изложены в следующих публикациях [13, 17, 23, 41, 44, 45, 48, 52, 53, 60, 65, 77, 81, 86, 87, 88, 90, 101, 104, 113, 120, 129, 132, 142, 143].

3.1 Развитие методов количественных исследований процессов переноса скрытого тепла и тепломассообмена в системе глобальной циркуляции атмосферы Земли на синоптических и климатически значимых масштабах, в том числе, переноса из Атлантики в Арктику и из тропической зоны в антарктические регионы для изучения климатических и погодных изменений арктической и антарктической зон атмосферы Земли

В последнее время в различных регионах Земли происходят заметные перемены в состоянии окружающей среды, связанные с изменением климата. По всей планете были зафиксированы существенные перемены на суше, в Мировом океане и в атмосфере, включающие в себя повышение температуры воздуха, изменение режима осадков, неожиданные паводки и наводнения, уменьшение площади и утончение морских и пресноводных льдов, деградацию вечной мерзлоты, изменение состояния водно-болотных угодий и устьев арктических рек, засоление и опустынивание почв, и т.п. Эти изменения существенно затрагивают социальную и экономическую структуру не только отдельных административных областей, но и целых стран. Арктика является одним из наиболее чувствительных регионов, подверженных глобальным изменениям климата. Изменение климата Арктики ведёт к учащению экстремальных природных явлений не только в самой Арктике, но также в сопредельных регионах, вплоть до Северного Китая и Монголии. На обширных территориях Европейской части России, Западной и Восточной Сибири, а также Дальнего Востока наблюдаются, несвойственные этим регионам ранее, опасные и особо опасные гидролого-климатические явления: ураганы, наводнения, экстремальные значения температур воздуха, скоростей ветра и количеств выпадающих осадков, и т.п. Изменение площадей заболоченных территорий Западной и Восточной Сибири влияет на объем стока Оби, Иртыша, Енисея, Лены, Хатанги, Яны, Индигирки, Колымы и других менее крупных рек. Существенно изменяются сроки половодья и гидрологические режимы крупных и малых рек. Это влечёт за собой ряд существенных проблем - изменение экологии регионов, структуры и состава биомов, утерю традиционного природопользования и необходимость адаптации населения и промышленных комплексов к новым условиям природной среды.

В связи с огромной площадью арктической территории и её труднодоступностью, а также незначительным количеством постов наблюдений, детальный анализ гидрологических изменений, происходящих в российской Арктике, возможен только с использованием данных дистанционного зондирования датчиками различного диапазона электромагнитного спектра, размещёнными на искусственных спутниках Земли. Поскольку многие регионы Земли, в разное время суток и в разные сезоны, бывают недоступны для наблюдений в видимом и инфракрасном диапазонах (полярная ночь, сплошная облачность, смог, задымлённость), перспективным для мониторинга становится микроволновый диапазон, данные которого не зависят от освещённости поверхности и состояния атмосферы. Здесь особое место занимает спутниковая микроволновая радиометрия. Микроволновые радиометры, установленные на искусственных спутниках, осуществляют глобальное покрытие Земли за двое-трое суток. При этом спутник зондирует разные участки земной поверхности с разной периодичностью, позволяя выполнять практически непрерывный ежедневный контроль над протекающими природными процессами. Достоинством микроволновой радиометрии является также низкое энергопотребление, что очень актуально в условиях орбитальной работы. Однако главное достоинство микроволновой радиометрии, это возможность, используя разные частоты и поляризации, принимать собственное излучение исследуемых объектов с разных глубин и, таким образом, получать более полную информацию о состоянии природной среды и процессах протекающих в ней.

Таким образом, актуальной, в настоящее время, задачей является выявление однозначных взаимосвязей сезонной и многолетней динамики яркостных температур с гидрологическими изменениями подстилающей поверхности арктических и субарктических территорий России, а также выявление на их основе, индикаторов возможного возникновения различных экстремальных природных явлений (наводнения, паводки, деградация вечной мерзлоты, изменение площади льда Северного Ледовитого океана, разрушение ледяного покрова акваторий, сход лавин, нарушение гидрологического режима крупных рек, болот, озёр, и т.п.).

3.1.1 Оценка площади морского льда в северном ледовитом океане по данным спутниковой микроволновой радиометрии

Работа выполнялась совместно с ААНИИ (Санкт-Петербург)

Морской лёд играет важную роль в климатической системе Земли и является одним из важнейших индикаторов климатических изменений. Информация о ледовых условиях играет значительную роль для решения ряда практических и научных задач: обеспечения судоходства, добычи полезных ископаемых на шельфе, оценки теплообмена между океаном и атмосферой и т.д. Учитывая ограниченное покрытие полярных регионов натурными наблюдениями с борта судов и на полярных станциях, в настоящее время основное внимание уделяется дистанционным методам мониторинга морского льда. Среди спутниковых данных при изучении изменчивости ледяного покрова особое место уделяется микроволновой радиометрии. Во-первых, из-за наиболее длинного ряда данных — первые результаты были получены ещё в конце 1978 года. Во-вторых, данные спутниковой микроволновой радиометрии ежедневные, всепогодные и охватывают всю акваторию Северного Ледовитого океана (СЛО). Для расчёта общей сплочённости и площади морского льда по значениям яркостной температуры поверхности, которую определяют микроволновые радиометры, уже создано и используется большое число алгоритмов (порядка 30), которые постоянно совершенствуются. При определении общей площади ледяного покрова разница в значениях, полученная по разным алгоритмам, может достигать 1,3 млн кв. км, тогда как графики изменения площади ледяного покрова показывают её изменение от 0,534 до 0,978 млн кв. км за десятилетний период, в зависимости от

алгоритма. То есть, ошибки данных спутниковой микроволновой радиометрии, по которым определяется площадь ледяного покрова, сопоставимы с межгодовыми изменениями площади льда в Арктике.

В ИКИ РАН, совместно с сотрудниками Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН и Арктического и антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ) разработан первый и пока единственный российский алгоритм определения сплочённости и площади морского льда полярных регионов по данным спутниковой микроволновой радиометрии — Variation Arctic/Antarctic Sea Ice Algorithm 2 (VASIA2). В настоящее время выполняются работы по валидации алгоритма VASIA2: определению его погрешностей и ошибок в различные климатические сезоны, а также сравнению с результатами, полученными по другим алгоритмам. Выполненный ранее анализ ошибок алгоритма VASIA2 в различных ледовых условиях, проведённый на основе сравнения с данными судовых наблюдений, а также результатами двух наиболее популярных алгоритмов NASA Team (NT) и ARTIST Sea Ice (ASI) показал, что алгоритмы NT, ASI и VASIA2 в летний период переоценивают общую сплочённость ледяного покрова в редких льдах и недооценивают — в сплочённых льдах. Максимальные ошибки в определении сплочённости у всех алгоритмов наблюдаются в разреженных льдах. Из трёх алгоритмов, VASIA2 показывает минимальные ошибки в сплошных льдах в летний период.

В настоящее время выполнено сопоставления площади морского льда СЛО с ещё одним источником информации о ледяном покрове — ледовыми картами ААНИИ. Были рассмотрены летние данные на конец августа – начало сентября 2019 г., т.е. в период максимального разрушения ледяного покрова в Арктике.

Общая ледовая карта СЛО, еженедельно выпускаемая на сайте ААНИИ (www.aari.ru) составляется «склейкой» обзорных карт всех морей, каждое из которых рисуется одним ледовым экспертом. При создании обзорной ледовой карты, эксперты используют различные виды спутниковых данных, собранных за 2–3 сут, где более свежая информация является приоритетной, так как получить ледовую карту для всей площади СЛО за один день невозможно из-за наличия облачности на оптических и ИК-снимках и неполного покрытия акватории радарными данными.

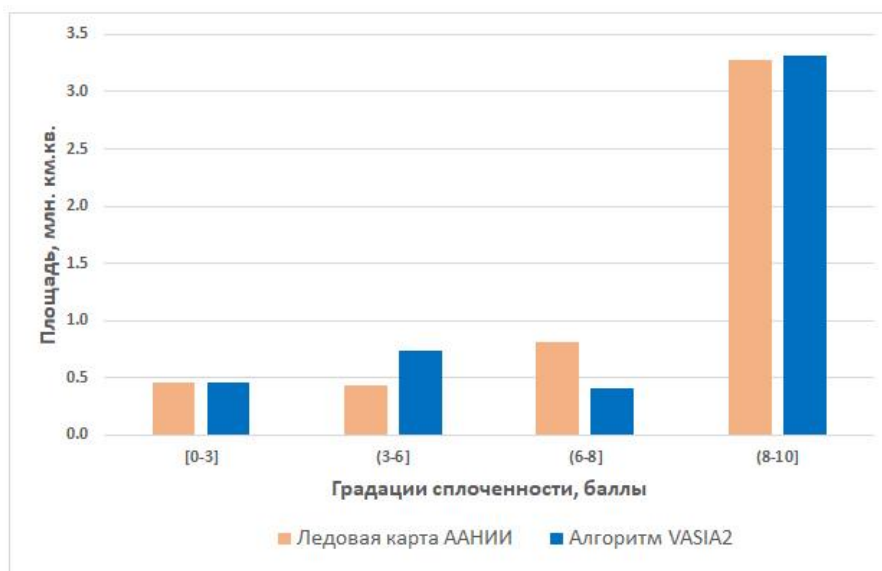


Рисунок 3.1.1.1 — Распределение площади ледяного покрова по различным градациям сплочённости на карте ААНИИ и спутниковом изображении по алгоритму VASIA2

На ледовой карте ААНИИ от 25–27 августа площадь моря, покрытая льдом любой сплочённости от 0,1 до 10 баллов, составила 4,979 млн кв. м, а на карте от 1–3 сентября — 4,722 млн кв. км. Соответствующая этим датам площадь льда по данным алгоритма VASIA2 составила 4,925 (на 1,1 % меньше, чем на карте ААНИИ) и 4,880 (на 3,4 % больше,

чем на карте ААНИИ). Осреднённые за два рассматриваемых периода (25–27 августа и 1–3 сентября 2019 г.) данные по площади льдов изображены на рисунке 3.1.1.1. В целом, видно, что алгоритмом VASIA2 переоценивается площадь редких и разреженных льдов, недооценивается площадь сплочённых льдов и хорошо определяется площадь очень сплочённых и сплошных льдов. Однако стоит отметить, что если рассматривать площади областей, занимаемых льдами сплочённостью 4–8 баллов, то алгоритм VASIA2 покажет очень хорошее совпадение с картами ААНИИ. Разница общей площади составила: –7,4 % в августе и –3,5 % в сентябре.

На рисунке 3.1.1.2 показаны многолетние изменения ледовитости СЛО (площади акватории, занятой льдом), определенные по алгоритму VASIA2, а также по нескольким современным алгоритмам. На графике представлены расчеты, выполненные по последним версиям алгоритмов: новейшим гибридным алгоритмам SICCI-12km, SICCI-25km, SICCI-50km и OSI-450, а также ASI, Bootstrap (CBT), NASA Team (NT1), NASA Team 2 (NT2). Разница между значениями ледовитости, определенной по этим алгоритмам колеблется от 100 000 до 600 000 кв. км. По современным представлениям, гибридные алгоритмы показывают наилучшие результаты относительно натурных данных. Следует отметить, что значения ледовитости, рассчитанные с помощью алгоритма VASIA2, наиболее схожи с гибридным алгоритмом OSI450.

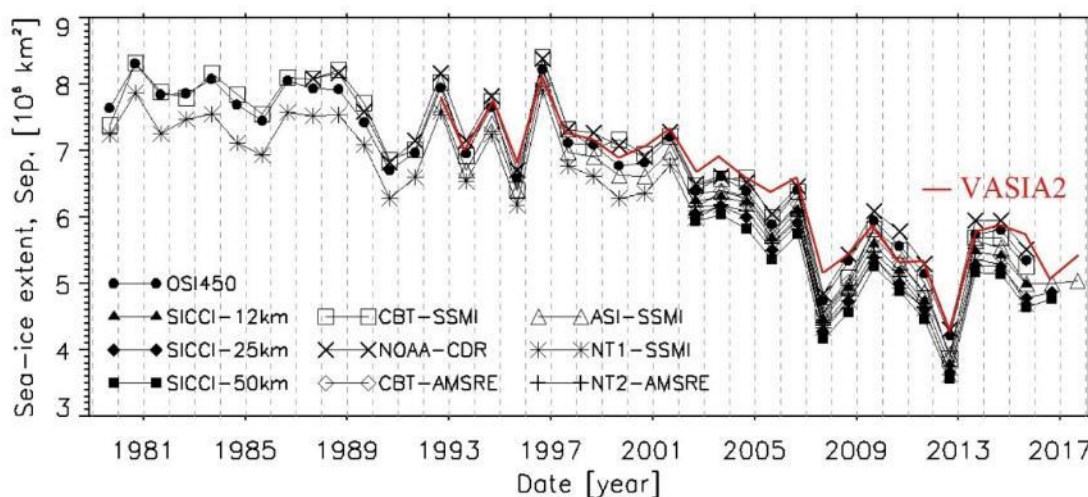


Рисунок 3.1.1.2 — Ледовитость СЛО, рассчитанная по различным алгоритмам и алгоритму VASIA2

Полученные результаты позволяют высоко оценить точность алгоритма VASIA2 при решении различных научных задач, связанных с изменением площади и сплочённости ледяного покрова, а также с анализом эволюции северной полярной шапки.

3.1.2 Анализ глубины промерзания почвы по данным радиометра MIRAS (1.4 ГГц) спутника SMOS, для исследования региональных климатических и гидрологических изменений

Работа выполнялась совместно с ИВЭП СО РАН (Барнаул)

Около 58 % поверхности Земли в северном полушарии сезонно замерзает и оттаивает. Влажность почвы и процессы, связанные с её замораживанием и оттаиванием, влияют на энергетический баланс, экосистему и гидрологические циклы нашей планеты. Эти характеристики почвы являются ключевыми параметрами в гидрологических исследованиях и моделях климата, так как определяют поверхностный энергетический баланс, а также обмен влаги и углерода между поверхностью почвы и атмосферой. Кроме

того, оттаивание и замерзание почвы определяет начало и окончание вегетационного периода.

Исследования проводились на территории Алтайского края. Для оценки пространственного распределения яркостных температур подстилающей поверхности использовались данные спутника SMOS. В качестве основных объектов исследования были выбраны 4 тестовых участка Кулундинской равнины. Данные метеонаблюдений: температуры воздуха и поверхности почвы, высоты снежного покрова и глубины промерзания почвы измерялись на метеостанциях, находящихся на тестовых участках.

Моделирование яркостной температуры почвенного покрова с верхним сезонно-мерзлым слоем было выполнено с учётом реальных параметров почв Кулундинской равнины и климатических характеристик исследуемых участков, полученных на метеостанциях за этот же период.

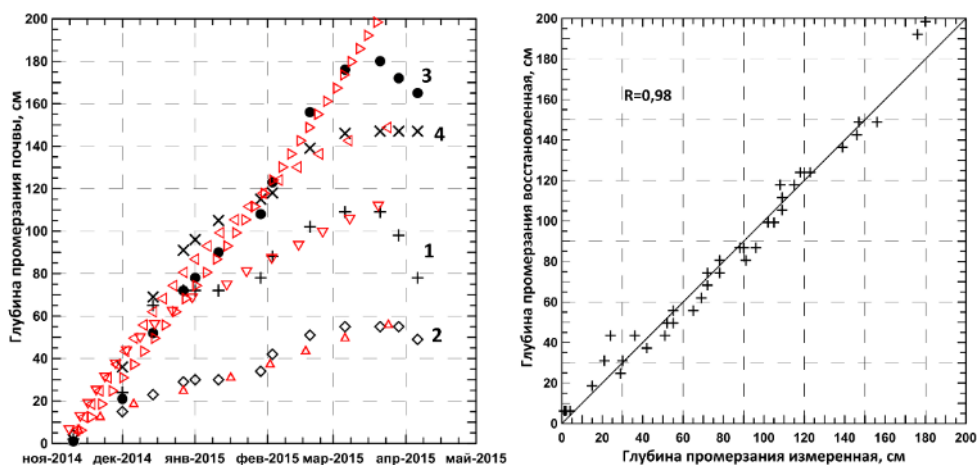


Рисунок 3.1.2.1 — Толщина мёрзлого слоя почвы, измеренная (чёрные символы) и модельные (красные символы) для четырёх участков, слева. Диаграмма рассеяния глубины промерзания почвы, измеренной и восстановленной, справа

На основе комплексного анализа ежедневных спутниковых данных, результатов полевых измерений и модельных расчетов показана возможность определения глубины промерзания почвы по данным спутниковой микроволновой радиометрии — рисунок 3.1.2.1. На рисунке 3.1.2.1 (слева) приведены значения толщин мёрзлого слоя почвы, определенные контактным способом на метеостанциях, расположенных вблизи от тестовых участков и зависимости глубины промерзания, выполненные по модельным расчетам. Отклонения рассчитанных по модели глубин промерзания почвы от значений определенных экспериментально показаны на рисунке 3.1.2.1 (справа). Близкое к единице значение коэффициента корреляции говорит о возможности применения описанного выше метода для восстановления значений глубины промерзания почвы по данным спутниковой микроволновой радиометрии и известным зависимостям диэлектрических характеристик мёрзлых и незамерзших почв от температуры и влажности.

3.1.3 Прогнозирование лавинной опасности методами микроволновой радиометрии

Работа выполнялась совместно с ОмГПУ (Омск)

Снежные лавины — одно из наиболее существенных экстремальных природных явлений, представляющее серьёзную опасность в заснеженных горных районах по всему миру, часто угрожая жизни людей и созданной инфраструктуре. Наличие лавинной опасности определяет необходимость исследования причин и закономерностей нарушения устойчивости снежного покрова на горных склонах. Работы в этом направлении могут

способствовать снижению материального ущерба и предотвращению несчастных случаев. Поскольку эти исследования находятся на стыке многих научных дисциплин, в них широко применяются различные методы. Это гляциологические методы исследования характеристик снега, методы математического моделирования лавинного процесса, построение эмпирико-статистических зависимостей влияния климатических факторов на сход лавин, а также спутниковое многочастотное зондирование и другие методы дистанционного мониторинга.

Дистанционные методы позволяют проводить объективные, безопасные и непрерывные наблюдения снежных лавин в различных пространственных масштабах. Наиболее информативными для решения задачи дистанционного зондирования снежного покрова стали диапазоны сантиметровых и миллиметровых волн, так как длина волны излучения оказывается сравнимой либо с размером частиц, либо с неоднородностями их концентрации. В связи с этим, был выполнен анализ результатов наземного эксперимента по определению частотных и угловых зависимостей яркостной температуры снежного покрова в микроволновом диапазоне.

Таблица 3.1.3.1 — Характеристики радиометрической аппаратуры

Частота, ГГц	3,75	19,5	37,5	150
Ширина полосы пропускания, ГГц	0,2	0,7	0,5; 0,7	1,0
Чувствительность, К при $\tau = 1$ с	0,1	0,15; 0,2	0,1; 0,2	0,6
Θ_z дБ, град	15	9	9	8
Поляризация	В	В; Г	В; Г	В

Экспериментальные исследования излучательной способности снежного покрова, лежащего на поверхности земли, проводились на радиометрическом полигоне в течение двух зим 1987/1988 и 1988/1989 гг. Радиометрический полигон находился в районе Крестового перевала Военно-Грузинской дороги на высоте 2297 м над уровнем моря. При выборе тестовой площадки было соблюдено условие свободного горизонта, т.е. горизонт не перекрывался противоположащими склонами, что позволило корректно провести измерения угловых зависимостей излучения снега при настильных углах зондирования. Исследование излучательных характеристик снежной среды проводилось с помощью многочастотного микроволнового измерительного комплекса. Используемый аппаратный комплекс позволял проводить измерения яркостной температуры снежного покрова в четырёх диапазонах длин волн. Радиометры размещались в герметичных корпусах, осуществляющих влаго- и теплоизоляцию СВЧ-элементов от внешней среды, и имели автоматическую систему термостатирования. Радиометрические приёмники обладали различными схемами построения, отличались по типу и реализуемой чувствительности. Основные характеристики радиометрической аппаратуры приведены в таблице 3.1.3.1. Комплекс радиометров размещался на высоте 5 м над землёй на поворотном устройстве, позволяющем в ходе эксперимента изменять угол места и азимутальный угол. Для проведения калибровки радиометров в качестве эталонных источников излучения использовались: зенит, металлический лист и чёрное тело. Металлический лист и чёрное тело располагались в дальней зоне антенн, и их угловой размер был больше угловых размеров главных лепестков диаграмм направленности. Наведение радиометров на цель осуществлялось при помощи теодолита и гелий-неонового лазера (используемого в качестве прицела), которые также крепились на поворотном устройстве.

Программа измерений включала ежедневное определение яркостной температуры снежного покрова под различными углами визирования. Снегомерные наблюдения велись в контрольных шурфах в непосредственной близости к радиометрической площадке. Гляциологические контактные измерения параметров снега в шурфе проводились

одновременно с радиометрическими измерениями и включали исследование стратиграфии снежного покрова. Образцы снега отбирались из однородных слоёв естественного снежного покрова, и проводилось послойное определение плотности, температуры и влажности. Для всех образцов исследовались параметры структуры снега: средний диаметр зёрен, дисперсия распределения зёрен по размерам.

В настоящем отчёте представлены результаты измерений угловых зависимостей яркостной температуры снежного покрова на частоте 3,75 ГГц вертикальной поляризации. Наблюдения проводились с 9 января по 9 апреля 1989 г. в диапазоне углов 50–85° с интервалом 5°.

Данные метеонаблюдений: среднесуточная температура воздуха, температура поверхности почвы, количество осадков для радиометрического полигона приведены на рисунке 3.1.3.1 (слева). Изменение высоты и структуры снежного покрова за время проведения наблюдений приведено на рисунке 3.1.3.1 (справа). Представленные результаты сезонного наблюдения за изменением стратиграфии хорошо показывают различные стадии метаморфизма снега. Метаморфизм начинается с разрушения снежинок, после чего в результате округления и собирательной перекристаллизации снег превращается в мелкозернистую среду, состоящую из неправильной формы зёрен примерно одинакового размера. В дальнейшем количество зёрен в единице объёма снега уменьшается, а средний их диаметр увеличивается. Это приводит к постепенному превращению мелкозернистого снега в среднезернистый, а затем в крупнозернистый. В марте в нижних горизонтах снежного покрова образовался слой глубинной изморози, состоящий из крупных ледяных кристаллов, относительно слабо связанных друг с другом. Глубинная изморозь представляет собой кристаллы, образующиеся в завершающей стадии конструктивного метаморфизма. Размеры кристаллов глубинной изморози варьируют от 0,8 до 6–7 мм. По мере перекристаллизации снежной толщи в ней развивается вертикальная предпочтительная ориентировка главных осей кристаллов. Вертикальные сростки ледяных частиц придают снежному разрезу характерную «волокнуистую» текстуру. Появление слоя глубинной изморози в толще снежного покрова является частой причиной схода снежных лавин (около 30 %), которые называются лавинами из «снежной доски».

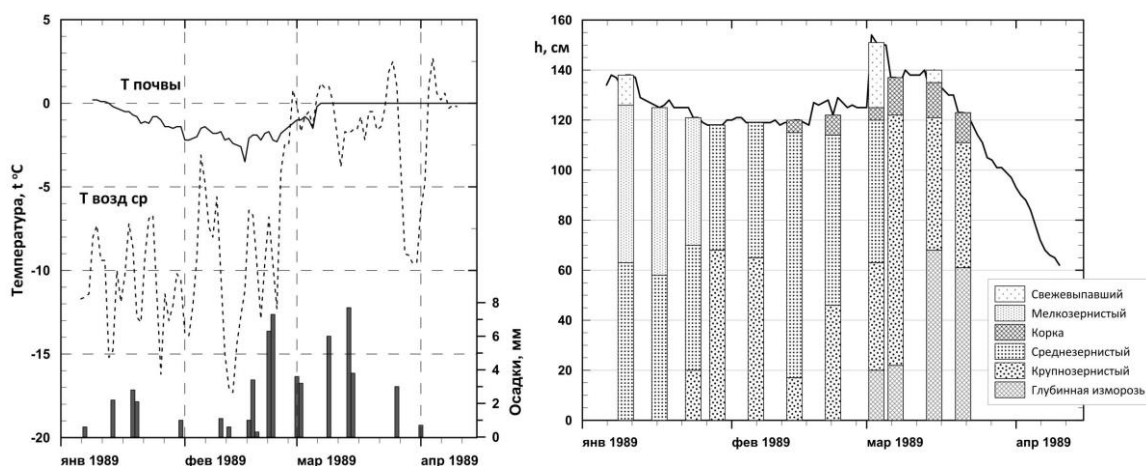


Рисунок 3.1.3.1 — Среднесуточная температура воздуха, температура поверхности почвы и количество осадков (мм вод. ст) для исследуемого участка, слева. Изменение высоты снежного покрова и стратиграфические разрезы снежной толщи, справа

Зависимости яркостной температуры (T_y) от угла наблюдения приведены на рисунке 3.1.3.2. В январе и феврале угловые зависимости соответствуют коэффициентам отражения Френеля, когда угол Брюстера ярко выражен (рисунок 3.1.3.1, слева), его величина различна для разных дней проведения измерений и зависит от температуры почвы под снегом. В течение снежного сезона угол Брюстера становится менее выраженным (кривая 1 на рисунке 3.1.3.1, справа), а в марте – апреле угловая зависимость T_y имеет

сглаженный характер (кривые 2–5 на рисунке 3.1.3.1, *справа*). Зафиксированное в эксперименте изменение угловой зависимости излучения снега не может быть объяснено изменением состояния почвы. Как следует из данных метеонаблюдений (см. рисунок 3.1.3.1) температурный и влажностный режим почвы до середины января и начиная со второй недели марта одинаковы. Однако при этом угловые зависимости $T_{\text{я}}$ от 10 и 12 января демонстрируют наличие угла Брюстера, в то время как аналогичные зависимости за март и апрель имеют сглаженный вид.

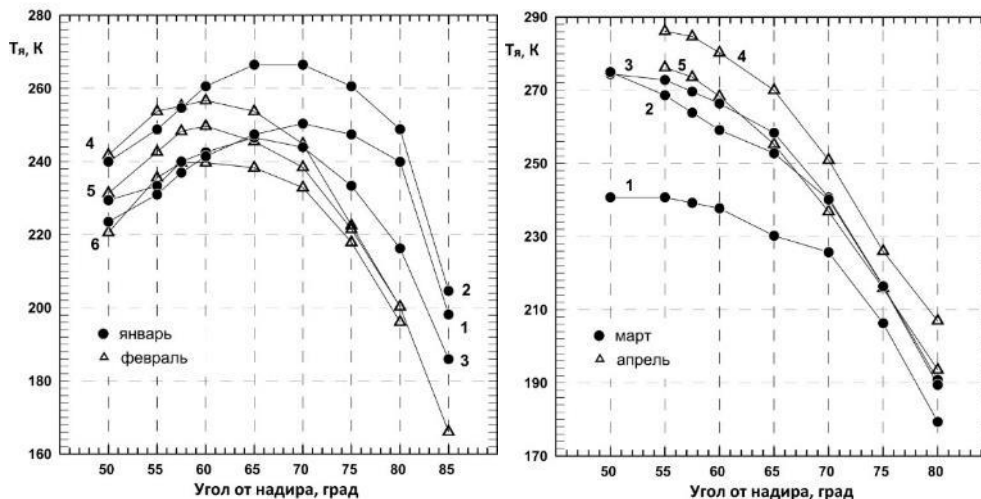


Рисунок 3.1.3.2 — Угловые зависимости яркостной температуры снежного покрова на частоте 3,75 ГГц, вертикальная поляризация, полученные в январе и феврале (даты измерений: 1 — 10.01.1989; 2 — 12.01.1989; 3 — 20.01.1989; 4 — 06.02.1989; 5 — 16.02.1989; 6 — 24.02.1989), *слева*; и в марте и апреле (даты измерений: 1 — 03.03.1989; 2 — 16.03.1989; 3 — 22.03.1989; 4 — 02.04.1989; 5 — 09.04.1989), *справа*

Как показывает сопоставление зависимостей $T_{\text{я}}$ и сезонного развития снежного покрова, сглаживание зависимости яркостной температуры от угла визирования (кривая 1 на рисунке 3.1.3.2, *справа*) совпадает с появлением слоя глубинной изморози (рис. 3.1.3.1, *справа*). Дальнейший рост слоя глубинной изморози приводит к практически гладкой угловой зависимости $T_{\text{я}}$ (кривые 2–5 на рисунке 3.1.3.2, *справа*). Появление влаги в снежном покрове в марте не оказывает значительного влияния на $T_{\text{я}}$ на частоте 3,75 ГГц и не влияет на угловые зависимости.

Принимаемое радиометром излучение состоит из трёх компонент: излучение земли, прошедшее сквозь снежный покров, отражённое излучение неба и собственное излучение снежного покрова. Излучение слоя снега и излучение подстилающей поверхности подвергаются влиянию границ раздела воздух – снег и снег – земля, а также поглощению и рассеянию снежной толщей. Преобладание эффектов рассеяния или поглощения электромагнитного излучения в снежном покрове определяется длиной волны излучения и размерами ледяных кристаллов, образующих снежный покров. При отсутствии слоя глубинной изморози излучение на частоте 3,75 ГГц определяется только излучением земли, так как снег является практически прозрачным в этом диапазоне. При появлении слоя глубинной изморози происходит рассеяние излучения на вертикальных сростках ледяных кристаллов. Это приводит к изменению угловой зависимости яркостной температуры.

Проведённые исследования позволили установить прямую зависимость формы углового спектра яркостной температуры на частоте 3,75 ГГц вертикальной поляризации от изменения стратиграфии снежного покрова. Возникающая на стадии конструктивного метаморфизма структура приземного слоя снежного покрова оказывает существенное влияние на распространение электромагнитного излучения длинноволновой части СВЧ-диапазона. Появление слоя глубинной изморози, состоящего из вертикальных сростков ледяных кристаллов, приводит к сглаживанию зависимости яркостной температуры от угла

визирования. На основе обнаруженного влияния глубинной изморози на угловые зависимости яркостной температуры на частоте 3,75 ГГц вертикальной поляризации возможно создание методики дистанционного контроля состояния глубинных слоёв снежного покрова для прогнозирования лавинной опасности в горах.

3.1.4 Развитие методов детального объективного анализа параметров глобальной атмосферной циркуляции на основе спутниковой радиометрической информации

Атмосфера является самой чувствительной подсистемой Земли, наиболее быстро отражающей тенденции изменения глобального и регионального климата. Среди многообразных проявлений этих изменений важную роль играет изменение структуры глобальной атмосферной циркуляции влаги и скрытого тепла. Именно процессы пространственного перераспределения атмосферной влаги способны привести к формированию мощных атмосферных катастроф (таких как тропические циклоны) и экстремальных погодных явлений (например, связанных с выходом на материк так называемых атмосферных рек). Во многом циркуляция атмосферного скрытого тепла определяет погоду и климат на региональных и планетарных масштабах. В частности, известно, что меридиональный поток атмосферного скрытого тепла в Арктику из низких широт как минимум сопоставим с потоком тепла, создаваемым океанами.

В рамках выполнения работ по государственному заданию продолжено развитие инструмента исследования динамики атмосферной циркуляции на основе данных радиофизического спутникового зондирования Земли и выполнено обобщение результатов такого исследования для интервала наблюдений с 2003 по 2019 г. (включительно). Подход, названный спутниковым радиотепловидением атмосферных процессов, основан на расширении классической обратной задачи дистанционного зондирования атмосферы и подстилающей поверхности Земли простой кинематической моделью движения. В итоге, в рамках определенных упрощающих предположений, удаётся восстанавливать одновременно поля интегрального влагосодержания атмосферы и поля скоростей адвекции водяного пара над океаном на регулярной географической сетке с шагом $0,25^\circ$ и дискретизацией по времени в единицы часов. В свою очередь, это обеспечивает возможность расчёта потоков скрытого тепла через произвольно задаваемые границы и замкнутые контуры.

Анализ спутниковых данных ранее показал, что предложенный подход позволяет успешно восстанавливать основные характерные параметры атмосферной циркуляции — положения границ ячеек циркуляции и их годовые колебания, направления и скорости зонального переноса в пределах каждой ячейки, положение термического экватора, сезонные вариации потоков и т.д. Наряду с этим, подход открывает возможности детального анализа геофизических полей на региональных масштабах. Расчёт динамики этих полей с высокой дискретизацией по времени позволяет перейти от усреднённых параметров, как правило, известных априори, к анализу отклонений от средних и выявлению возможных долговременных трендов. Безусловно, значимость такого подхода будет возрастать по мере накопления и обработки все более длинных серий качественных спутниковых наблюдений.

Для подтверждения корректности расчётов потоков атмосферного скрытого тепла на уровне пространственной детализации порядка $0,25^\circ$ и временной детализации порядка одних суток. были вычислены пятилетние ряды (2015–2019) среднесуточных значений зональных потоков скрытого тепла в узлах географической сетки с шагом $0,25^\circ$, соответствующих положениям нескольких островных метеостанций. Построенные ряды далее были сопоставлены с рядами среднесуточных потоков скрытого тепла, вычисленных по данным радиозондирования и реанализу ERA5 ECMWF, в целях качественного и количественного анализа их взаимного соответствия.

На рисунке 3.1.4.1 в качестве примера приведены графики зональных потоков скрытого тепла, рассчитанные по указанным трём источникам за 2016 г., а также диаграмма, характеризующая качество метеоданных для станции в Южной Атлантике с координатами 40,35° ю.ш. и 9,88° з.д.

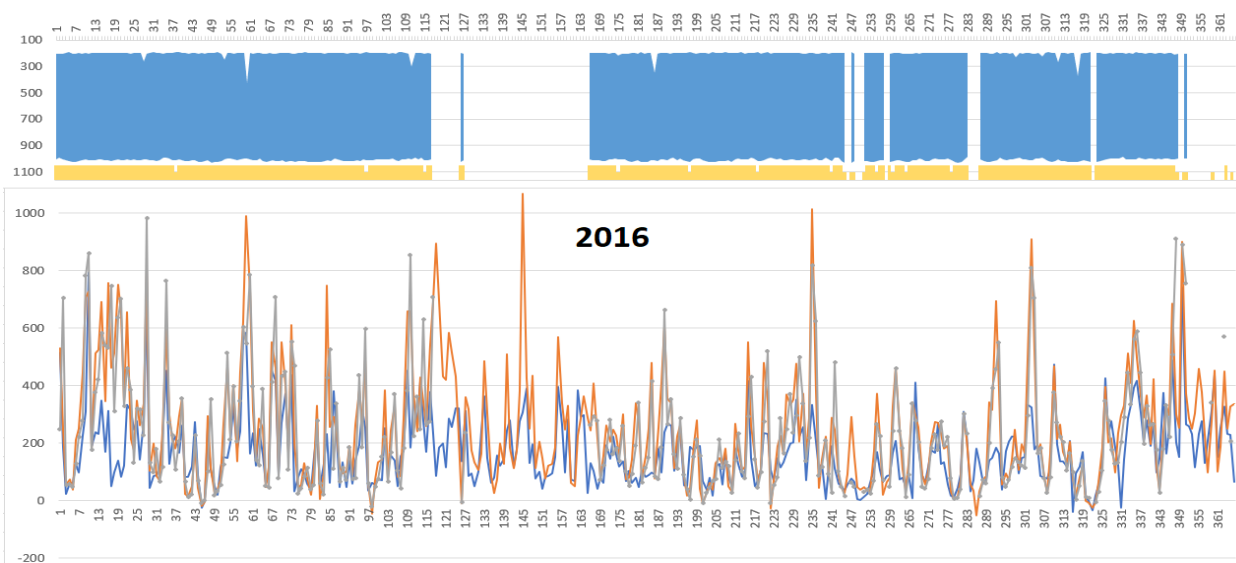


Рисунок 3.1.4.1 — В верхней части: диаграмма качества метеоданных. Жёлтая ступенчатая полоса — число сеансов радиозондирования (один или два, пропуск соответствует отсутствию данных); синяя полоса — диапазон охваченных уровней давления (шкала в гПа слева). В нижней части: графики среднесуточных зональных потоков скрытого тепла по данным спутникового радиотепловидения — синяя кривая; реанализа — оранжевая кривая и метеоданным — серая кривая (шкала в $\text{кг}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$ слева, положительные значения соответствуют направлению на восток). По совмещённой горизонтальной оси — номер суток 2016 г.

Как видно, в метеоданных могут встречаться существенные по длительности пропуски. Особый интерес представляет степень соответствия между рядами потоков по спутниковому радиотепловидению и реанализу, при наличии и в отсутствие метеоданных.

В целом, анализ показал, что спутниковое радиотепловидение и реанализ воспроизводят близкие картины атмосферной циркуляции, особенно при усреднении на синоптических (недельных и больших) масштабах времени. Так, для пятилетних рядов в указанной выше точке, корреляция рядов среднесуточных значений составила 0,665, но при сглаживании в скользящем окне размерами от 3 до 21 сут монотонно возрастала до значения 0,81. Коэффициент регрессии значений потоков из реанализа, по соответствующим значениям из спутникового радиотепловидения, оказался близок к единице (в пределах 10 %) для всех проанализированных лет, за исключением второй половины 2019 г., в течение которой не осуществлялись запуски радиозондов. В последнем случае коэффициент регрессии составил 1,2 (значения потоков из реанализа оказались в среднем выше на 20%).

3.1.5 Применение метода спутникового радиотепловидения для анализа климатических вариаций Арктического региона

Подход спутникового радиотепловидения был применён к анализу характеристик многолетней атмосферной циркуляции скрытого тепла в полярных областях. В частности, для анализа крупномасштабного переноса скрытого тепла в Арктику в XXI веке, были рассчитаны среднегодовые мощности меридиональных потоков атмосферного скрытого тепла над океаном через широтные границы 60° с.ш., 55° с.ш., 50° с.ш. за 2003–2019 гг.

На рисунке 3.1.5.1 в качестве примера приведены графики расчётных среднегодовых мощностей меридианальных потоков скрытого тепла через границу 60° с.ш.

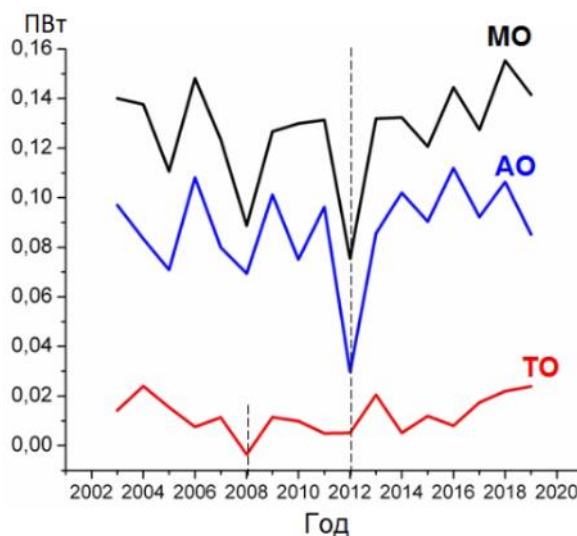


Рисунок 3.1.5.1 — Среднегодовые мощности меридианальных потоков скрытого тепла (ПВт) через границу 60° с.ш. над Мировым океаном (МО), их составляющая над Тихим океаном (ТО) и Атлантикой (АО)

Анализ результатов показывает, что значения мощности переноса скрытого тепла из средних широт в высокие (положительные значения соответствуют направлению на север) демонстрируют на декадном масштабе наблюдений тенденцию к ослаблению в первой половине рассмотренного интервала с выраженным минимумом в 2012 г. и обратную тенденцию к возрастанию с 2012 по 2019 г. Эта картина устойчиво воспроизводится при анализе потоков через широтные границы 55° с.ш. и 50° с.ш. (сдвиг в более высокие широты невозможен ввиду отсутствия достаточно надёжных и полных данных об интегральном влагосодержании атмосферы над сушей). Анализ всей совокупности данных выявляет дополнительные особенности, позволяющие предположить, что смена тенденции ослабления/нарастания потоков происходила не одновременно над всеми акваториями Мирового океана, начавшись чуть раньше над Тихим океаном (в интервале 2008–2012 гг.) и несколько позднее над Атлантикой (2012–2014).

Предварительным предположением, объясняющим выявленную общую картину переноса скрытого тепла в Арктику над Мировым океаном, является предложенная качественная схема взаимосвязи изменений потоков скрытого тепла и мощности ледяной полярной шапки: холодная Арктика — рост ледяной полярной шапки — слабый прогрев Ледовитого океана и арктической атмосферы — рост широтных градиентов метеопараметров — рост потоков скрытого тепла из средних широт — нагревание Арктики — сокращение ледяной полярной шапки — сильный прогрев Ледовитого океана и арктической атмосферы — ослабление широтных градиентов метеопараметров — снижение потоков скрытого тепла из средних широт — остывание Арктики.

Согласно предложенной схеме, сокращение ледяной полярной шапки должно приводить к уменьшению интегрального потока скрытого тепла из средних широт в Арктику (блокирование), что, в свою очередь, должно способствовать восстановлению полярной шапки. Действительно, несмотря на некоторые разночтения в различных источниках, в целом отмечается, что в 2012 г. наблюдалась (рекордно) низкая площадь покрытия Ледовитого океана льдом в зимний сезон. Для проверки сделанного предположения необходим дальнейший анализ на разных временных масштабах, начиная с разделения каждого года на тёплый и холодный сезоны и заканчивая детальным исследованием при суточной дискретизации временных рядов.

3.2 Развитие методов изучения крупномасштабных опасных природных явлений, в том числе вулканической активности и катастрофических природных пожаров

3.2.1 Совершенствование системы VolSatView

На основе данных приборов TROPOMI (спутник Sentinel-5) и OMI (спутник AURA) был создан и внедрён в систему ряд специализированных информационных продуктов о состоянии атмосферы. А именно, была реализована технология построения ежедневных, еженедельных, ежемесячных и годовых безоблачных композитных изображений, содержащих информацию о концентрации угарного газа, диоксида серы и метана в атмосфере, а также о качественном показателе атмосферы (аэрозольный индекс). Хотя детальное изучение полученных данных является предметом отдельного большого исследования, в рамках текущих работ была показана общая сопоставимость указанных информационных продуктов о состоянии атмосферы с другими имеющимися в системе данными об извержениях.

Возможность использования созданных информационных продуктов была оценена на трех эксплозивных извержениях вулканов Камчатки: при выбросах пепловых шлейфов вулканом Райкоке 22 июня 2019 года, вулканом Безымянный 21 октября 2020 года и вулканом Ключевской 17 апреля 2020 года. Для этих извержений информация о распространении пеплового шлейфа, полученная по данным прибора АНІ (спутник HIMAWARI-8), сопоставлялась с данными о концентрациях различных газов в атмосфере по данным прибора TROPOMI (спутник Sentinel-5). Примеры такого сопоставления показаны на рисунках 3.2.1.1, 3.2.1.2, 3.2.1.3 для извержения вулкана Райкоке, которое произошло в ночь с 22-го на 23-е июня 2019. На рисунке 3.2.1.1. показано выброшенное в результате извержения облако пепла по данным прибора АНІ (спутник HIMAWARI-8), продукт с использованием каналов на длинах волн 12.3 мкм, 10.4 мкм, 8.6 мкм. На всех рисунках красным контуром обозначена область распространения пепла к часу ночи 22 июня. На рисунке 3.2.1.2 показаны изображения ежедневных композитов среднего значения в каждой точке по продукту концентрация двуокиси серы (SO₂) до извержения на 21 июня (рисунок 3.2.1.2.A) и после извержения на 22 июня (рисунок 3.2.1.2.B). На рисунке 3.2.1.3 приведены изображения ежедневных композитов среднего значения в каждой точке по продукту аэрозольный индекс до извержения на 21 июня (рисунок 3.2.1.3.A) и после извержения на 22 июня (рисунок 3.2.1.3.B).

В результате были сделаны следующие выводы. После извержения наблюдаются существенные изменения состава атмосферы в районе выброса, которые заметны на данных прибора TROPOMI (спутник Sentinel-5). Наиболее заметно увеличивается концентрация двуокиси серы и аэрозольный индекс. Полученные композиты могут использоваться для комплексного анализа состояния атмосферы в момент эксплозивного извержения и для оценки характера и объёма выбросов газов в атмосферу. Причём использование осреднённых за интервал (день, неделя, месяц) композитных изображений может дать более полную картину распространения газов по сравнению с использованием одномоментных спутниковых данных.

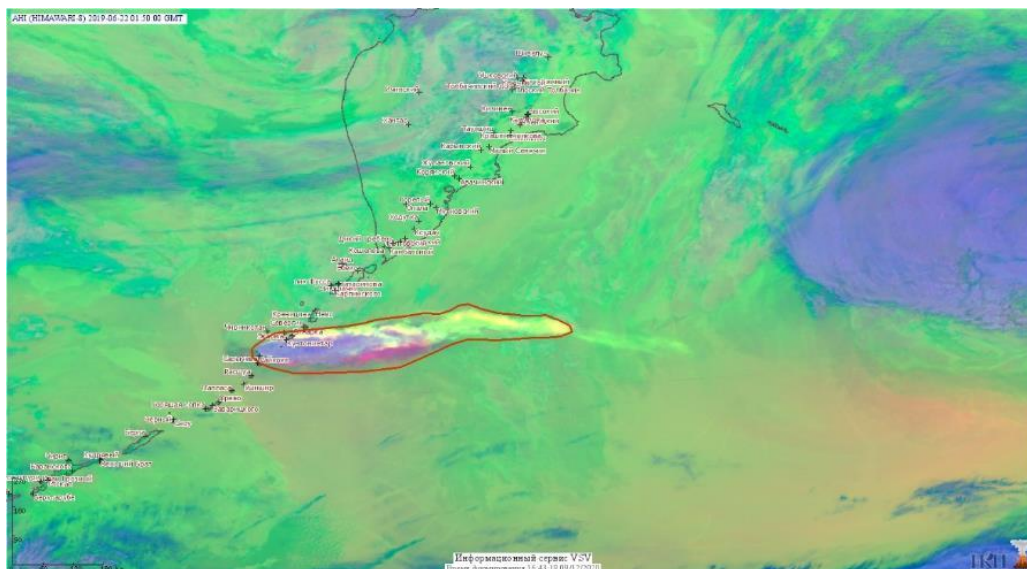


Рисунок 3.2.1.1 — Облако пепла по данным прибора АНИ (спутник HIMAWARI-8)

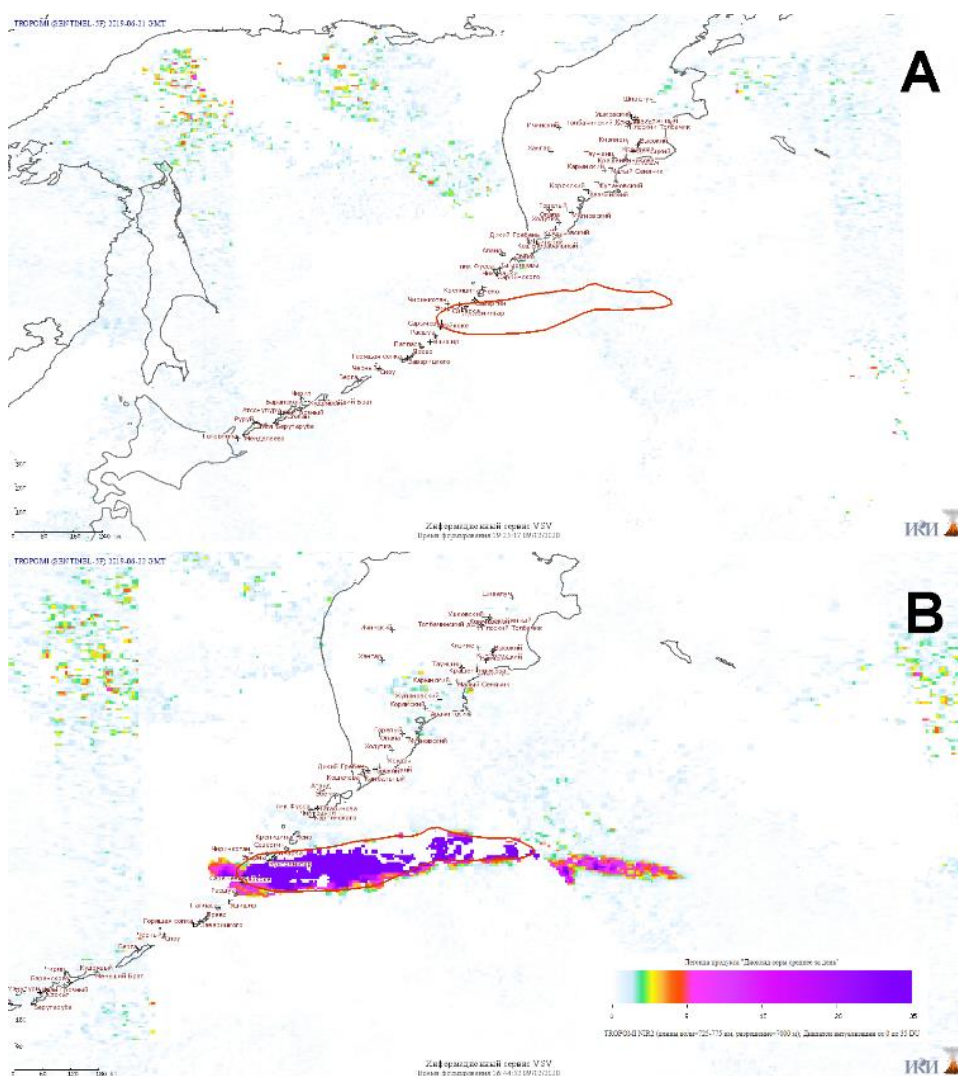


Рисунок 3.2.1.2 — Ежедневные композиты среднего значения в каждой точке по продукту концентрация двуокиси серы (SO_2) до извержения (рисунок 3.2.2.A) и после него(рисунок 3.2.2.B)

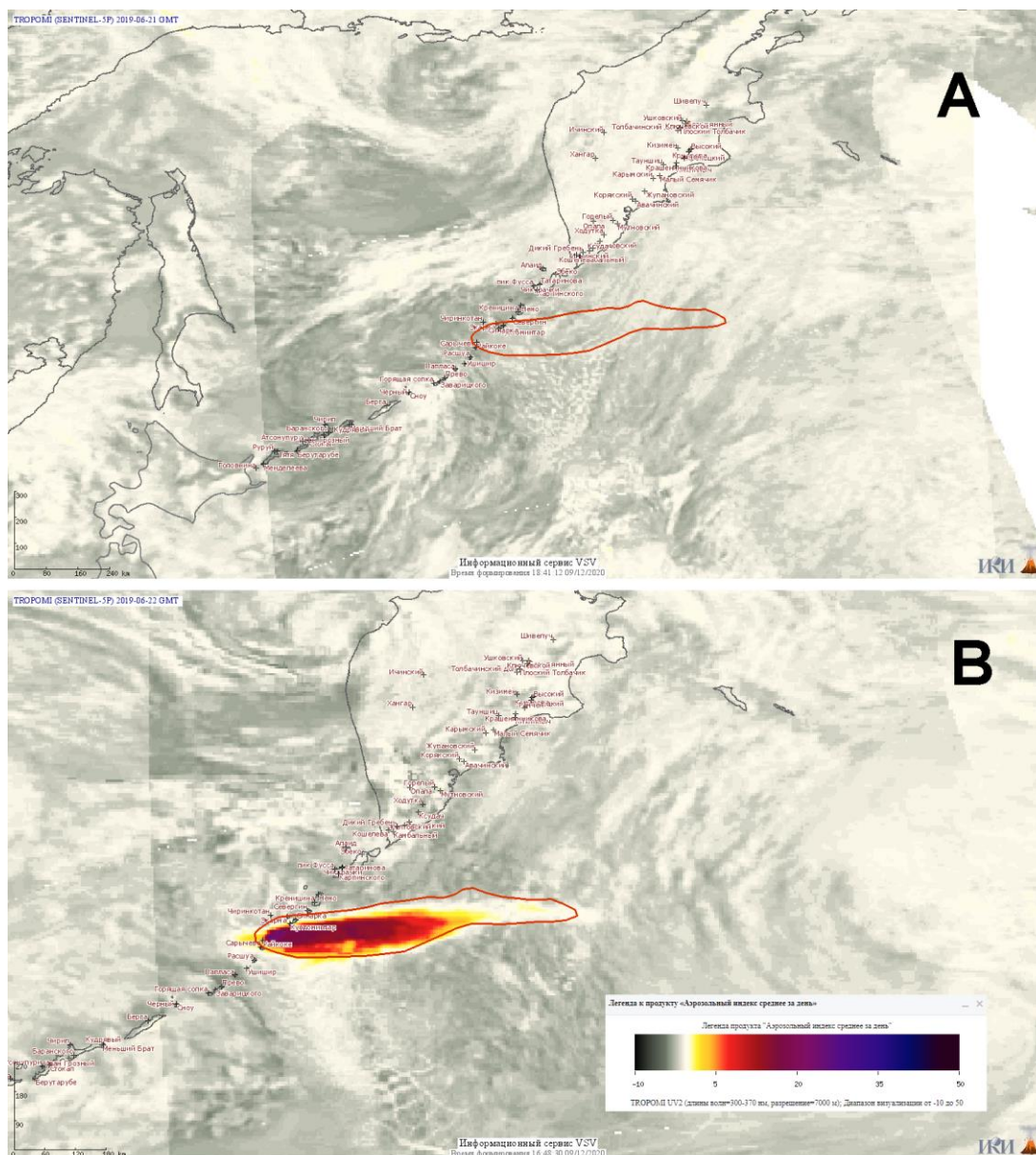


Рисунок 3.2.1.3 — Ежедневные композиты среднего значения в каждой точке по продукту аэрозольный индекс до извержения (рисунок 3.2.3.A) и после него (рисунок 3.2.3.B)

3.2.2 Использование системы VolSatView для анализа извержений вулканов Ключевской и Безымянный в 2019-2020 годах

3.2.2.1. Анализ извержения вулкана Безымянный 15 марта 2019 года

Вулкан Безымянный — один из наиболее активных вулканов на Камчатке и в мире. В декабре 2016 года началась его активизация после четырёхлетнего молчания в течение 2012–2016 годов. В 2017 году произошло три пароксизмальных эксплозивных извержения вулкана, в 2019 году — два. В работе дано описание извержения, произошедшего 15 марта 2019 года, а также предвещающих его событий на основании изучения видеоматериалов и различных спутниковых данных. Мониторинг вулкана проводился с помощью информационной системы (ИС) «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» (VolSatView). Извержение было предсказано сотрудниками KVERT (Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team, Камчатская группа реагирования на вулканические извержения) за 6,5 ч до его начала. Эксплозии подняли пепел до 15 км над уровнем моря, эруптивное облако перемещалось на северо-восток и восток от вулкана,

основная площадь территории, на которой отмечались пеплопады, составляла около 210 410 кв. км, в том числе на суше — 15 000 кв. км. Показано анимированное изображение движения пеплового облака от вулкана, выполненное по серии снимков Himawari-8 в ИС VolSatView (<http://kamchatka.volcanoes.smislabs.ru/animation/1584509687.gif>). Аэрозольные облака после окончания извержения фиксировались в атмосфере на удалении до 4000 км на северо-восток от вулкана до 18 марта 2019 года. В результате извержения на всех склонах вулкана (преимущественно на восточном и юго-восточном) образовались отложения пирокластических потоков и пирокластических волн, площадь которых составила около 30 кв. км. Результаты анализа данного извержения подробно описаны в работе *Гирина О.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Лунян Е.А., Крамарева Л.С.* Характеристика событий эксплозивного извержения вулкана Безымянный 15 марта 2019 г. по спутниковым данным // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2020. Т. 17. № 3. С. 102–114. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-102-114.

3.2.2.1. Анализ извержения вулкана Безымянный 21 октября 2020 года

Вулкан Безымянный — один из наиболее активных вулканов Камчатки и мира. Предыдущее его извержение произошло 15 марта 2019 года. В настоящей работе описано эксплозивное извержение вулкана 21 октября 2020 года и предвещающие его события на основании изучения видеоматериалов и различных спутниковых данных. Спутниковый мониторинг вулкана проводится с помощью информационной системы «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» (VolSatView) с 2014 года. Эксплозии подняли пепел до 10–11 км над уровнем моря, в связи с циклоном в районе Камчатки эруптивное облако было разделено на две части: северная часть в течение 21–23 октября находилась над Ключевской группой вулканов, южная переместилась на расстояние более 1000 км на юго-восток от вулкана. Основная площадь территории, на которой отмечались пеплопады, на 10:11 GMT 22 октября 2020 года составила около 111,5 тыс. кв. км, в том числе на суше — 60,8 тыс. кв. км. Показано анимированное изображение движения пеплового облака от вулкана, выполненное по серии снимков Himawari-8 в VolSatView (<http://kamchatka.volcanoes.smislabs.ru/animation/1603972936.webm>). Для этого извержения VEI равен 2. Подробно результаты анализа данного извержения описаны в работе *Гирина О.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Кашицкий А.В., Крамарева Л.С., Нуседаев А.А.* Анализ событий эксплозивного извержения вулкана Безымянный 21 октября 2020 г. по спутниковым данным // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2020. Т. 17. № 5. С. 297–303. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-297-303.

3.2.3 Разработка подходов оперативного прогноза гибели лесов на основе данных о радиационной мощности пожаров

Оценка гибели лесов на основе данных о радиационной мощности пожаров подразумевает выявление устойчивой связи между интенсивностью горения пожаров (FRP — Fire Radiative Power) и степенью повреждений растительности. Такую связь возможно установить и впоследствии использовать на устойчивых и протяжённых во времени наборах данных.

Фактически единственным рядом данных, имеющих информацию об интенсивности горения (интегральной мощности излучения) на большой территории за почти двадцатилетний период наблюдений (с 2001 года по настоящее время) является ряд данных прибора MODIS (продукт MCD14DL).

Использование базы данных о повреждениях лесного покрова, сформированной в ИКИ РАН на основе спутниковых данных за период 2012 по 2019 год на всей территории РФ, вместе с информацией о FRP, полученной на основе продукта MCD14DL, позволило получить достаточную базу для создания автоматизированного метода сопоставления

данных FRP и повреждений лесного покрова и определения связи FRP с вероятностью повреждения лесного покрова. Для этого необходимо было решить следующие задачи:

- 1) сопоставление данных о термических аномалиях MODIS и повреждений лесного покрова:
 - расчёт однородного и сопоставимого для разных размеров пикселей FRP;
 - создание метода корректного сопоставления данных FRP с постпожарными повреждениями;
- 2) получение устойчивых зависимостей классов повреждений от FRP
 - анализ результатов сопоставления и выявление связей по полученным с помощью метода сопоставления данным;
 - проверка независимости результатов от метода сопоставления;
 - изучение возможности получения оперативной оценки вероятных повреждений лесов пожарами и потенциальных ущербов от них по данным интенсивности горения;
- 3) создание подхода оперативного прогноза гибели лесов на основе данных о радиационной мощности пожаров

В рамках работы решалась задача нахождения зависимости между интенсивностью горения пожаров и постпожарными повреждениями, требующая разработки метода корректного сопоставления имеющихся данных о FRP лесных пожаров и средневзвешенной категории состояния (СКС) лесов.

Для решения данной задачи был разработан и реализован метод построения постпожарных (на время, когда пожар уже закончился) карт FRP. В каждую точку такой карты помещается максимальное значение FRP, которое наблюдалось за все время действия пожара. На рисунке 3.2.3.1 представлен пример подобной карты, визуализированный в ИС «Bera-Science».

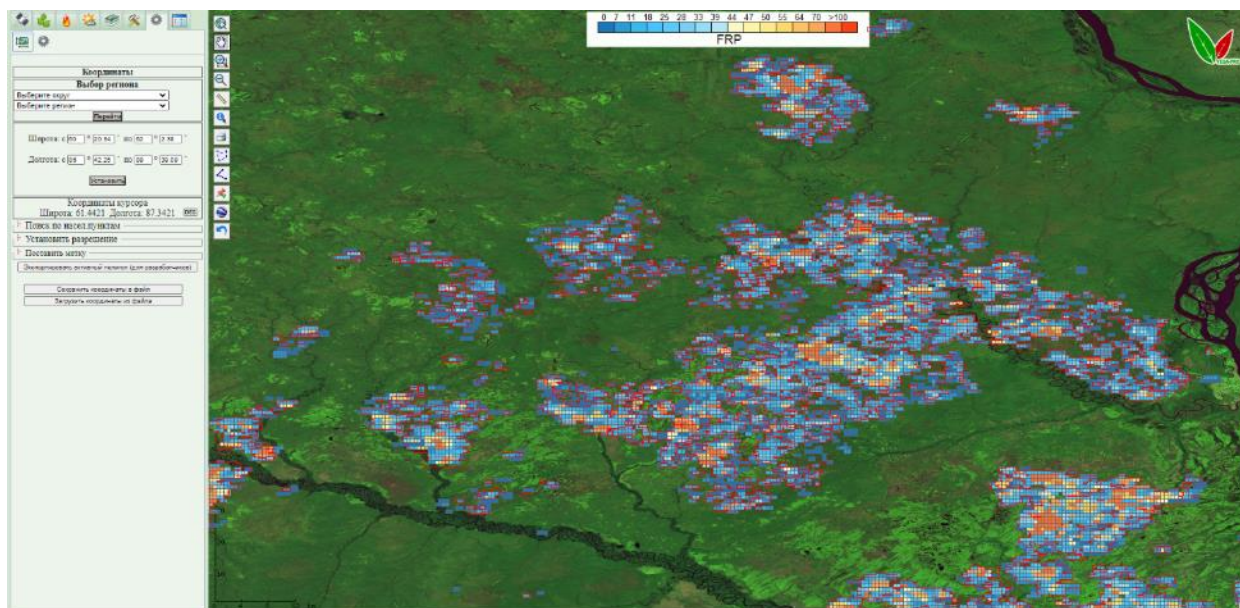


Рисунок 3.2.3.1 — Пример постпожарной карты FRP

Следующим этапом решения поставленной задачи стало сравнение карт распределений энергетических характеристик пожаров с картами постпожарных повреждений — средней категорией состояния (СКС). Такое сравнение, в частности, позволило получить вероятности возникновения повреждений от значений FRP, наблюдаемых в постпожарах.

Ниже представлены зависимости, полученные на основе интегрированных данных наблюдений FRP на территории РФ с 2012 по 2019 год. Распределение, изображённое на графике 3.2.3.2 отражает общие тенденции в отношении FRP между классами. Пик

распределений классов с первого по четвёртый приходится на окрестность 10 МВт. Для пятого класса он сдвинут в область 20 МВт. Если рассматривать представленные в таблице 3.2.3.1 средние значения FRP для разных классов, пятый класс также выделяется наиболее высоким показателем. При этом на втором месте по величине располагается первый класс. Такая особенность может быть связана с тем, что в этот класс СКС попадает растительность, умирающая не в первый сезон. Для рассмотрения этого эффекта в будущем предлагается сравнить карты постпожарных повреждений с картами усыхания растительности. В связи с этим, именно выделение по FRP пятого класса повреждений представляет наибольшую ценность.



Рисунок 3.2.3.2 — распределение FRP для разных классов СКС с нормированным на площадь FRP для всех зарегистрированных горячих точек

Таблица 3.2.3.1— среднее FRP для каждого класса СКС по второму методу сопоставления с нормированным на площадь FRP для всех зарегистрированных горячих точек с 2012 по 2019 год

СКС	Среднее FRP	Количество ячеек сетки
1(+2)	37,7	51925
3	20,3	5543
4	29,5	12014
5	99,3	41807

На графике 3.2.3.3 классы СКС объединены в две группы – с первого по третий и с четвертого по пятый. Такое разделение рассматривается в связи с тем, что во многих исследованиях к погибшей растительности относят именно покров с разрушениями четвертого и пятого классов. Линии графика пересекаются в районе 84 МВт/кв. км, т.е. вероятность сильных повреждений (4–5 класс) для FRP превышающих данное значение будет более 50 %. Полученные зависимости можно использовать для экспресс оценки степени повреждения лесов, которая может выполняться на момент завершения конкретного пожара. Для в каждой точке постпожарной карты FRP на основе полученной зависимости оценивается вероятный процент гибели лесных насаждений (который может, в частности, быть интерпретирован, как процент площади погибших лесов в пикселе постпожарной карты FRP).

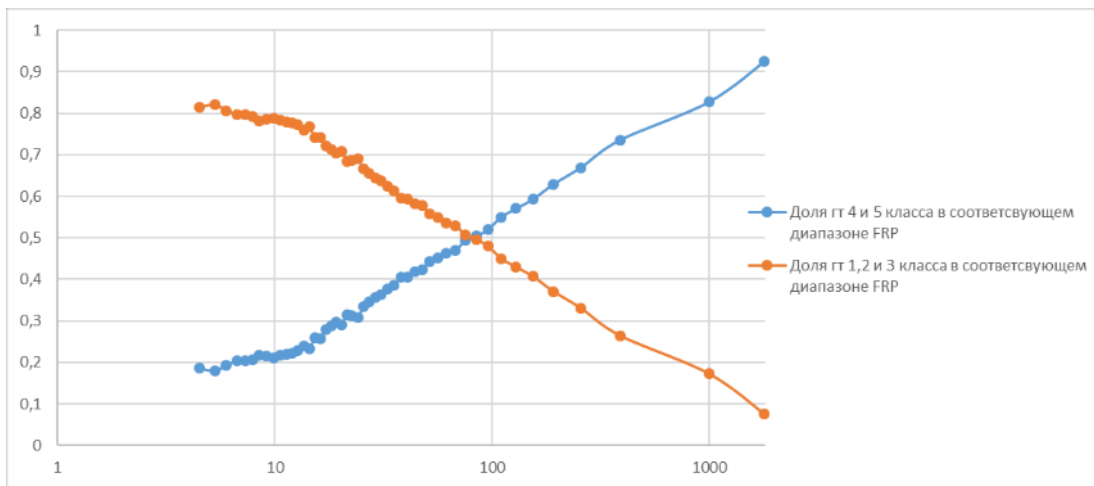


Рисунок 3.2.3.3 — доля горячих точек первых трёх классов СКС и классов СКС 4 и 5 по диапазонам FRP

Таким образом, мы фактически получили зависимость степени повреждения лесного покрова от значений FRP в создаваемых постпожарных картах.

3.2.4 Анализ особенностей использования набора данных МС6 для оценки площадей, пройденных лесными пожарами

Спутниковые данные в настоящее время являются практически единственным инструментом мониторинга явлений и объектов на глобальных территориях. В частности, сведения об активном горении, получаемые по данным прибора среднего пространственного разрешения MODIS спутников Aqua и Terra, позволяют проводить как оперативный мониторинг, так и оценку накопленных с 2001 года данных о пожарах на территории всей Российской Федерации. Технологии мониторинга пожаров по таким данным в настоящее время применяются в целом ряде информационных систем, в частности, ИСДМ-Рослесхоз, сервисы «Созвездия Вега» и используются для получения различных оценок, в том числе, площадей, пройденных лесными пожарами.

Для получения оценки пройденной огнём площади необходимо учитывать параметры используемых спутниковых данных. В первую очередь, это пространственное разрешение данных и параметры применяемых для выявления термических аномалий алгоритмов. Для учета таких параметров при оценке площадей пожаров в приведённых выше системах используется специальная коррекция, отражающая связь реальных площадей пожаров, полученных по данным высокого пространственного разрешения, с наблюдаемыми по данным MODIS. При этом, любые изменения в параметрах исходных спутниковых данных приводят к необходимости пересмотра коррекции.

С 2015 года центр распространения данных об активном горении MODIS FIRMS начал предоставление нового набора данных (коллекции) версии 6 (MODIS collection 6, МС6) в дополнение к коллекции МС5. В новой коллекции был применён модифицированный алгоритм детектирования термических аномалий, позволивший лучше определять низкотемпературные пожары и пожары, скрытые атмосферной дымкой. В настоящее время с параметрами коллекции МС6 предоставляются все данные об активном горении, как оперативные, так и архивные. Очевидно, что изменение алгоритма привело к изменениям и в получаемых оценках пройденных огнём площадей по сравнению с предыдущей коллекцией.

Для использования данного набора данных при оценке площадей лесных пожаров необходимо оценить изменения в получаемых оценках площадей, провести анализ характера изменений и сформировать новые алгоритмы коррекции, актуальные для нового ряда данных.

Для этого, были сформированы два ряда данных о пожарах по двум коллекциям. По рядам данных были получены оценки получаемых геометрических площадей и количеств детектированных пожаров. Сравнительные данные о лесных пожарах двух рядов по годам приведены на рисунках 3.2.4.1 и 3.2.4.2 соответственно.



Рисунок 3.2.4.1 — Суммарные площади лесных пожаров по годам

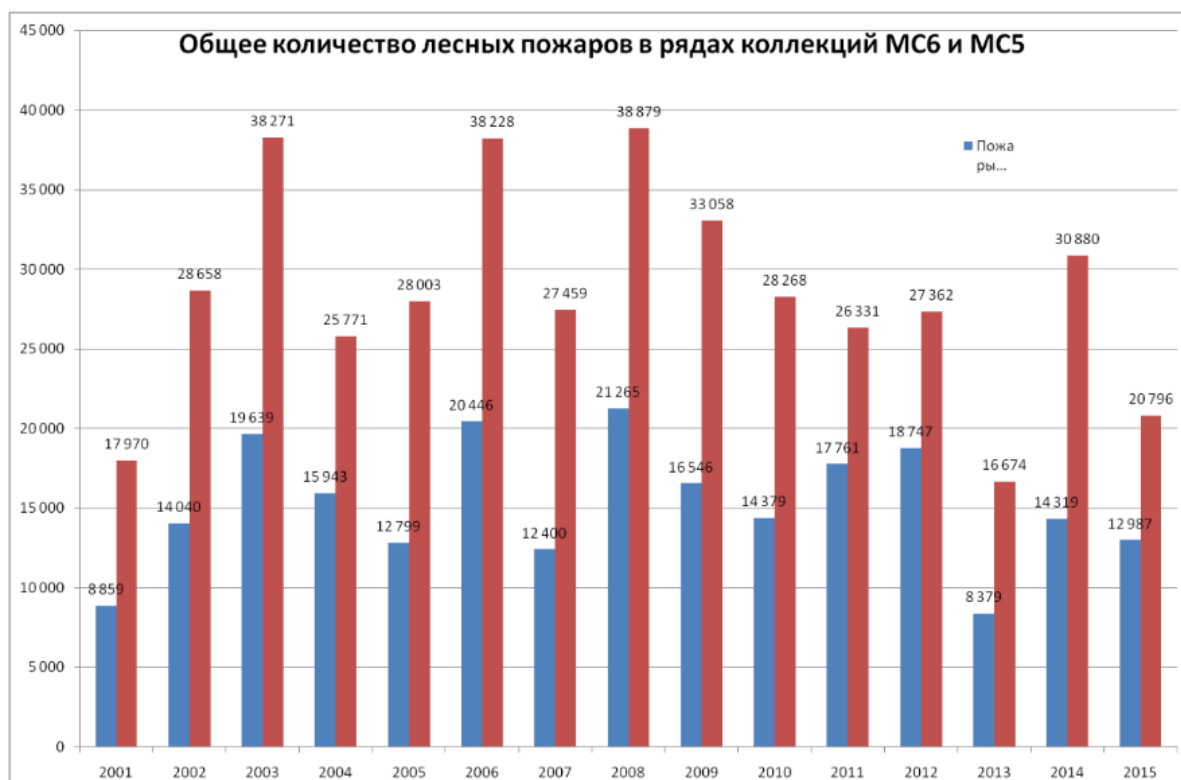


Рисунок 3.2.4.2 — Общее количество лесных пожаров по годам

Представленные графики наглядно иллюстрируют разницу в количестве пожаров и оценке пройденной огнём площади. Очевидно, что необходим пересмотр алгоритмов коррекции получаемых площадей по данным ряда МС6.

Пожары двух рядов сопоставлены между собой с использованием пространственных и временных критериев. Далее, новому ряду МС6 был сопоставлен массив данных уточнённых площадей, сформированных на основе спутниковой информации высокого разрешения, в первую очередь по данным аппаратов серий Landsat и Sentinel. Сопоставленные ряды данных были очищены от случаев повторного горения, случаев слияния возникших рядом пожаров и др. Дополнительно ряд был дополнен уточнёнными контурами для пожаров, детектированных только по данным коллекции МС6. В конечном итоге это позволило рассчитать график коррекции геометрических площадей пожаров, полученных на основе данных наблюдения активного горения для оценки вероятной площади, пройденной огнём, который представлен на рисунке 3.2.4.3.

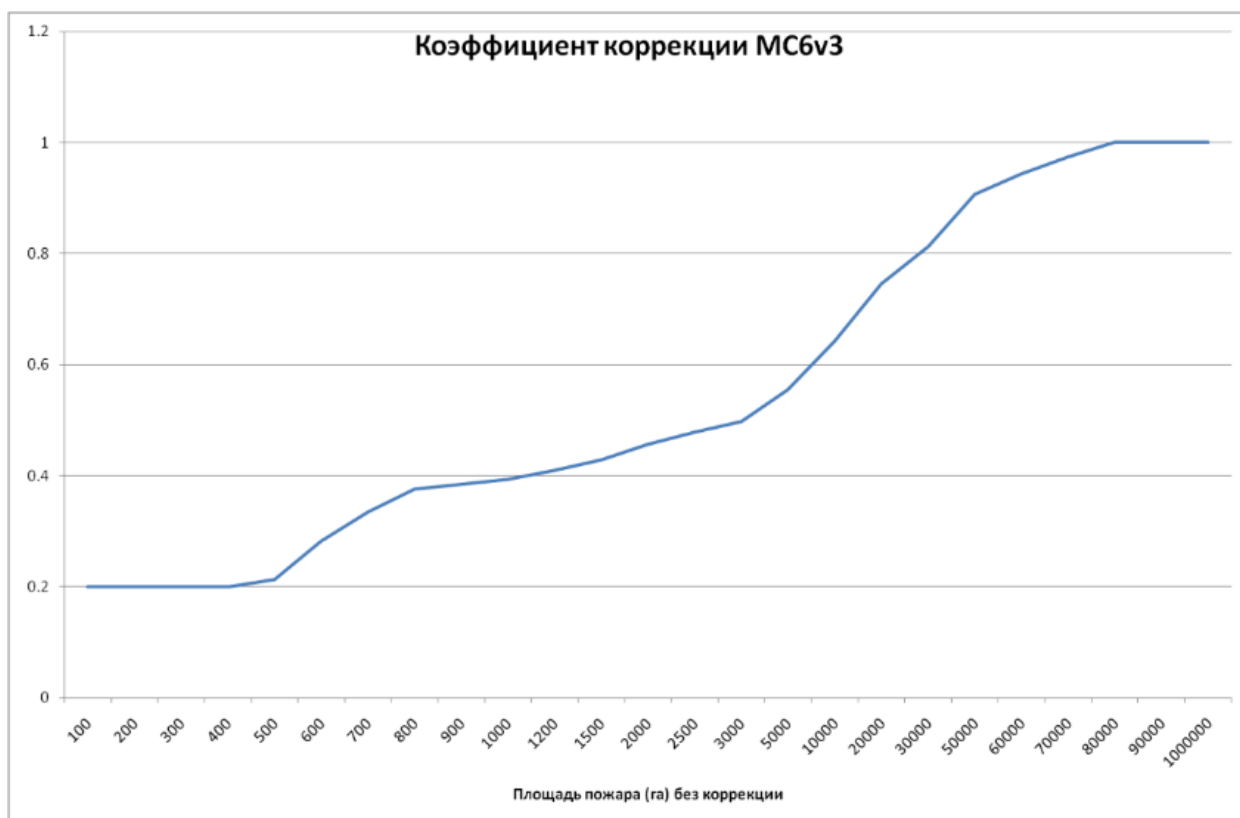


Рисунок 3.2.4.3 — График функции коррекции площади

Полученная коррекция была использована для расчёта площадей в ряде данных пожаров по данным МС6 MODIS с 2001 по 2020 год. Предварительные результаты оценок площадей, пройденных огнём в эти годы, представлены на рисунке 3.2.4.4. На нём представлены площади лесных пожаров двух рядов: ряда по данным МС5 с предыдущей версии функции коррекции, и ряда по данным МС6 с применением полученной новой функции коррекции.

Следует отметить, что увеличение площади пожаров, наблюдаемых по набору данных МС6, видимо, связаны с тем, что новый ряд данных позволил выявлять более мелкогабаритные очаги горения, а также детектировать горение в более сложных метеоусловиях и в условиях сильного задымления. В то же время вопрос увеличения площадей требует ещё дополнительного рассмотрения и анализа.

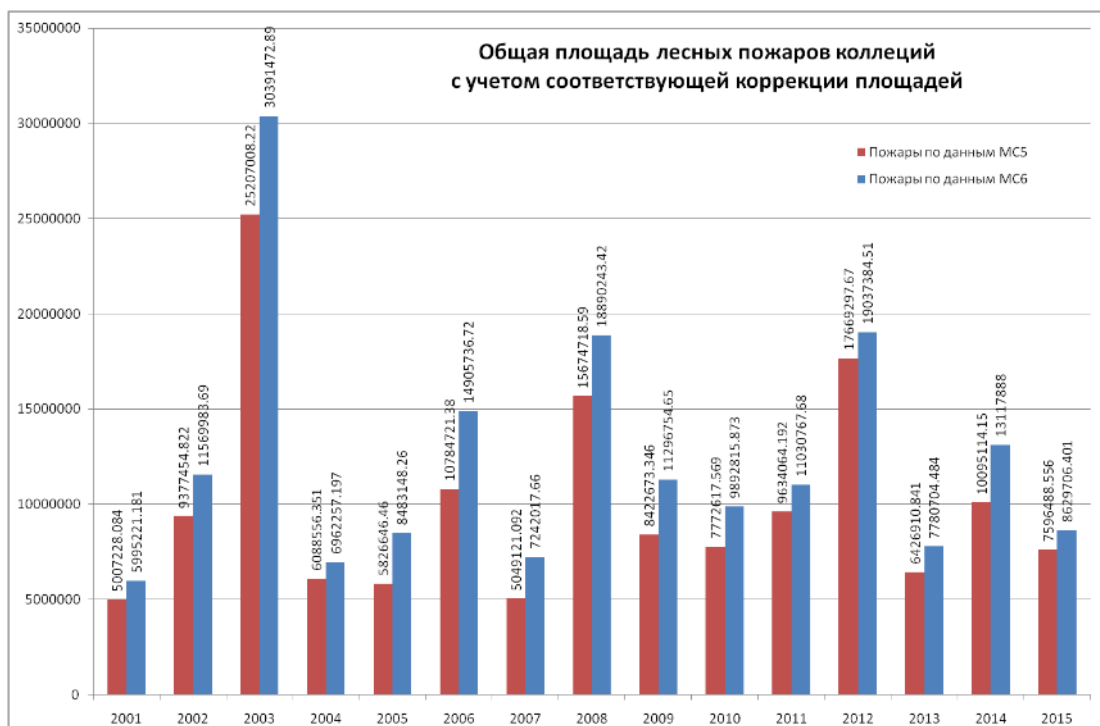


Рисунок 3.2.4.4 — Площади пожаров в рядах по данным MC5 и MC6

3.2.5 Особенности распределения точек возникновения лесных пожаров на территории России в 21 веке

В настоящее время достаточно много внимания уделяется наблюдению за глобальными климатическими изменениями и последствиями, с ними связанными. В качестве индикаторов используются, в том числе, среднегодовые температуры, содержание парниковых газов в атмосфере и другие, по которым имеются достаточно продолжительные ряды наблюдений. Одним из таких рядов данных являются сведения о термических аномалиях, регистрируемых по данным спутникового прибора MODIS. В ИКИ РАН на основе этого ряда данных создан однородный набор данных о пожарах, объединяющих информацию об отдельных термических аномалиях как в пространстве, так и во времени. Такой набор данных позволяет исследовать различные характеристики пожаров как объектов, таких как их общая и лесная площадь, длительности горения, сведения о точках возникновения на глобальных территориях, в частности, России, за более 20 лет наблюдений.

Изменения некоторых из представленных индикаторов могут быть вызваны антропогенным фактором, деятельностью человека как в глобальных масштабах, так и на локальном уровне. Применительно к пожарам наибольший интерес представляют закономерности, связанные с лесными типами территорий, поскольку именно лес является ресурсом, сильно страдающим от деятельности человека, а также одновременно влияющим на и зависящим от климатических изменений. Изменения в количестве и расположении точек возникновения пожаров могут выявить районы изменений, связанные как с климатом, так и с режимом использования лесов.

На основе ряда данных о пожарах, сформированного по термическим аномалиям прибора MODIS коллекции 6, полученных из центра FIRMS в ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (<http://ckp.geosmis.ru/>) был сформирован единый массив точек возникновения пожаров за весь период наблюдения территории России с 2001 по 2020 годы. Массив погружен в пространственную базу данных, поддерживающую быстрый поиск по географическим координатам объектов и их атрибутам через программные интерфейсы. Такой массив

позволяет за приемлемое для пользователя время «на лету» проводить анализ данных за любой выбранный набор лет и на произвольной территории.

Для визуализации такого ряда данных также был разработан специализированный инструмент анализа. Инструмент развернут на базе информационного сервиса Вега-Лес (<http://forest.geosmis.ru>), разработанного в ИКИ РАН как среды, обеспечивающей возможность работы со сверхбольшими архивами спутниковых данных и результатов их обработки. Инструмент позволяет формировать карты точек регистрации (первых наблюдений горения) лесных и нелесных пожаров совместно с другой картографической информацией, а также управлять параметрами выбора данных для отображаемых слоёв — площадью пожаров, интервалами лет и месяцами возникновения. Инструмент позволяет строить карты распределений точек возникновения пожаров как на всю территорию РФ, так и для отдельных субъектов и произвольных областей, в выбранной пользователем проекции. Использование данного инструмента позволило провести анализ изменений в распределении точек возникновения лесных пожаров на территории России в 21 веке. Наблюдаемые изменения распределения точек регистрации лесных пожаров может выявить изменение структуры горения территории, потенциально связанное как с антропогенной нагрузкой, так и с глобальными изменениями лесного покрова.

На рисунках 3.2.5.1, 3.2.5.2, 3.2.5.3, 3.2.5.4, представлены карты распределения точек регистрации по пятилеткам для оценки глобальных зон изменения горимости. В качестве подложки использованы слои границ РФ и карта зон мониторинга пожаров.

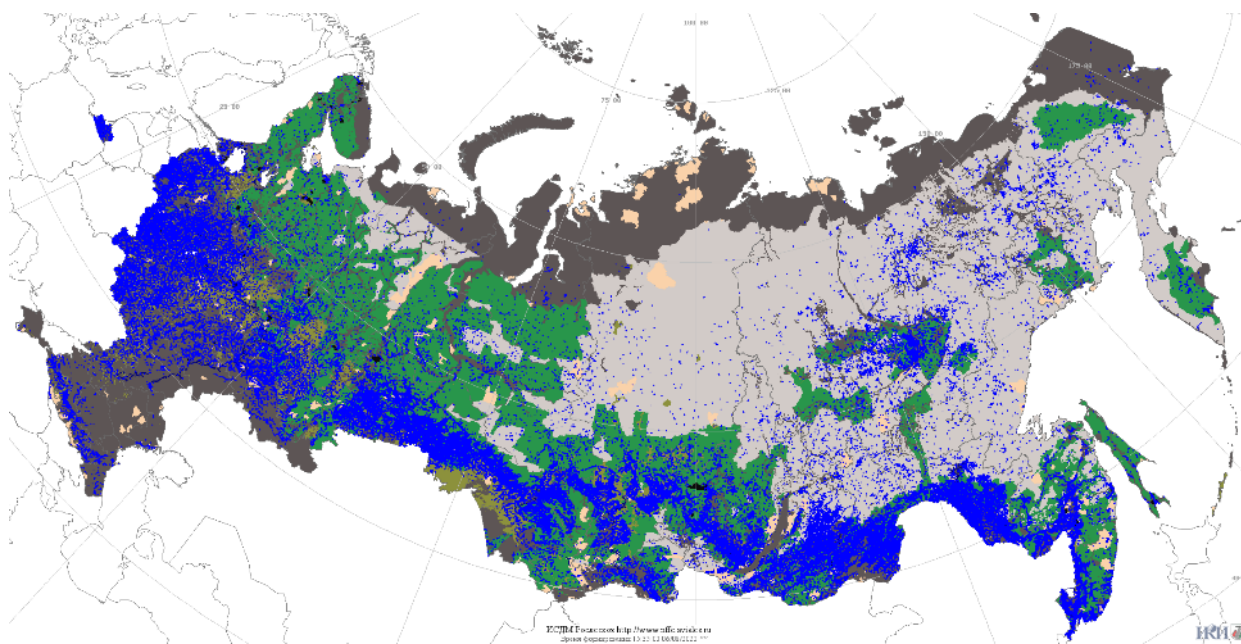


Рисунок 3.2.5.1 — Наблюдения точек возникновения лесных пожаров за период 2000–2004 годы

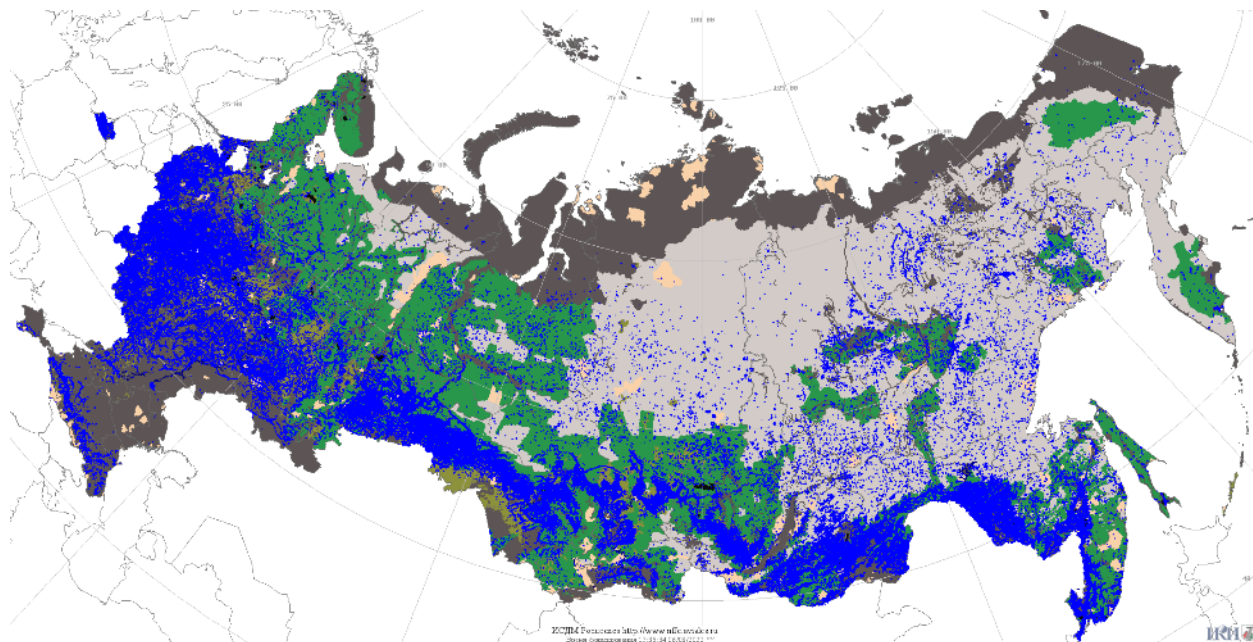


Рисунок 3.2.5.2 — Наблюдения точек возникновения лесных пожаров за период 2005–2009 годы

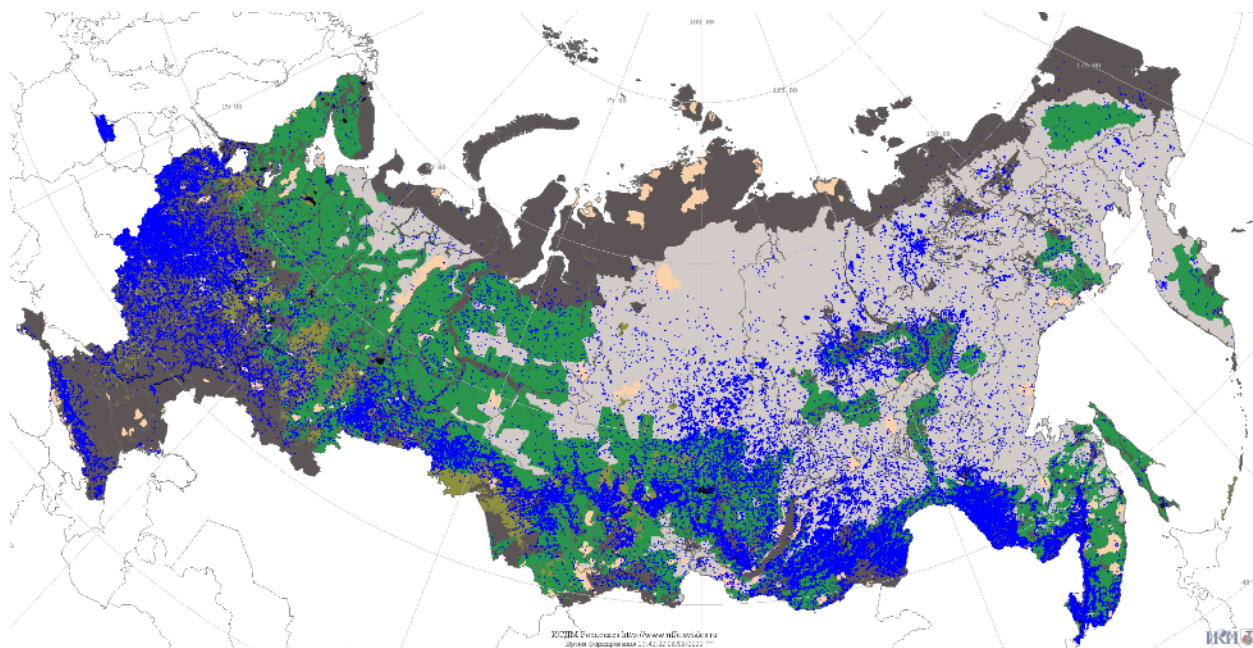


Рисунок 3.2.5.3 — Наблюдения точек возникновения лесных пожаров за период 2010–2014 годы

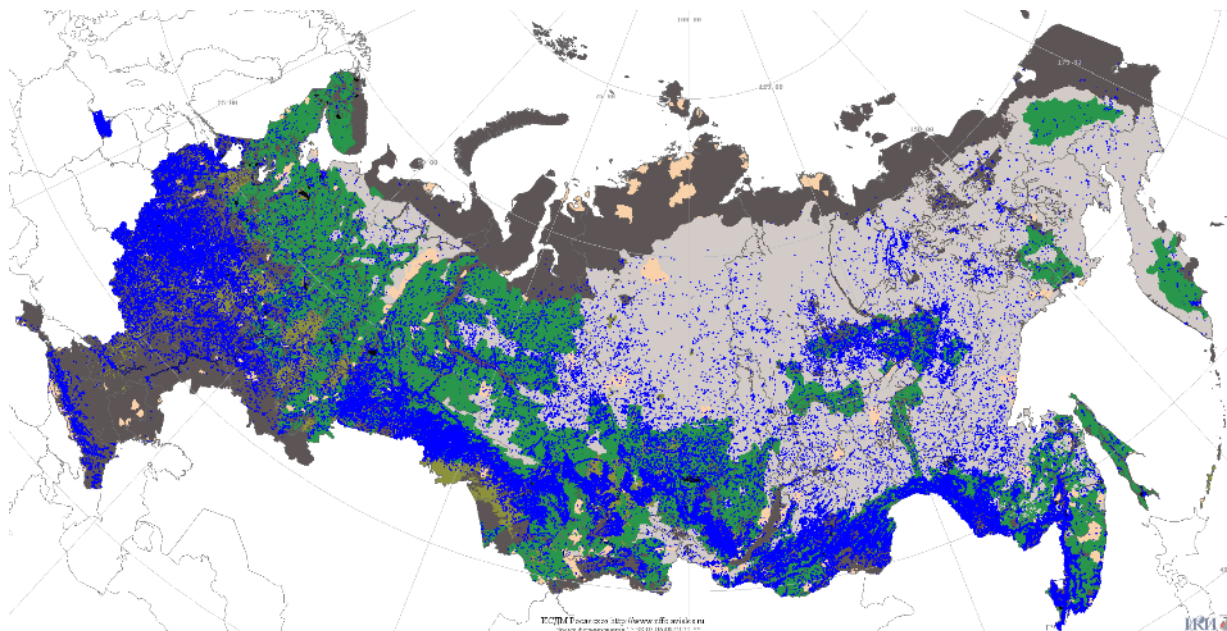


Рисунок 3.2.5.4 — Наблюдения точек возникновения лесных пожаров за период 2015–2019 годы

Сравнение данных за разные пятилетия показывает, что отчётливо заметен эффект увеличения числа пожаров на труднодоступных территориях в Сибири в последнее десятилетие и уменьшение на севере Европейской территории.

Для севера Европейской части РФ были сформированы карты на более детальном масштабе. На рисунках 3.2.5.5, 3.2.5.6 представлены последние пятилетние интервалы наблюдений севера. Изменения, вероятно, связаны с изменением интенсивности разработки и эксплуатации нефтяных месторождений.

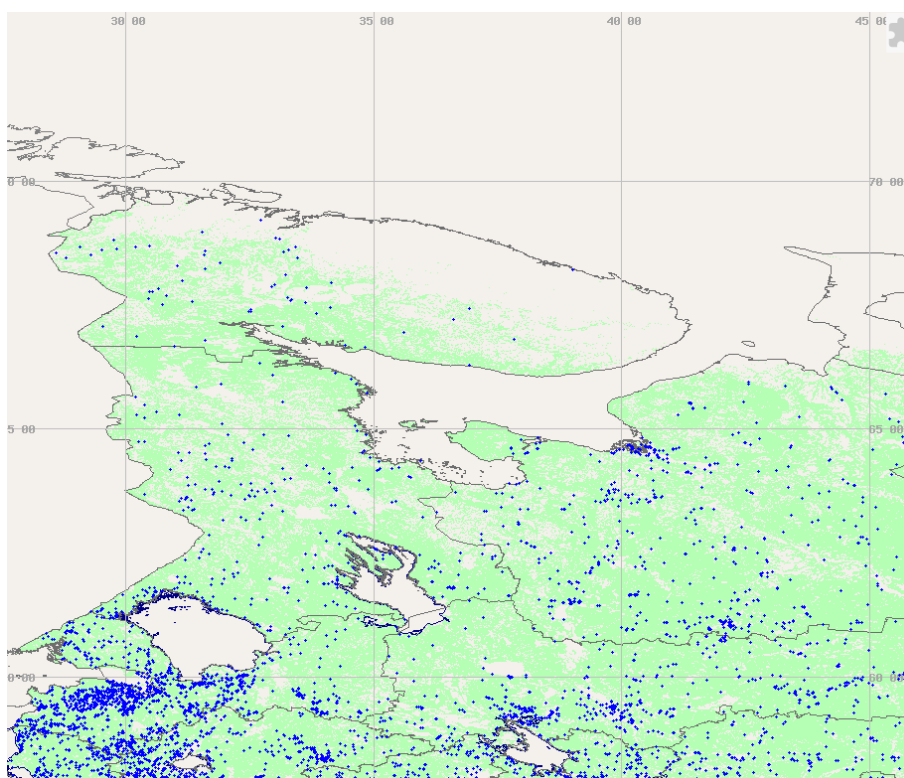


Рисунок 3.2.5.5 — Наблюдения точек возникновения лесных пожаров севера Европейской части РФ за период 2010–2014 годы

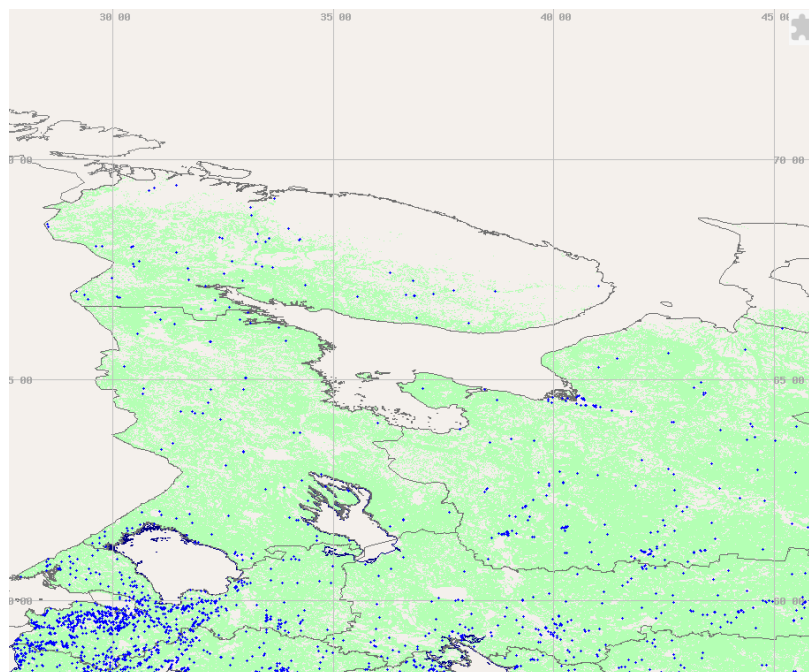


Рисунок 3.2.5.6 — Наблюдения точек возникновения лесных пожаров севера Европейской части РФ за период 2015–2019 годы

Другая закономерность представлена на рисунках 3.2.5.6 и 3.2.5.7 на более детальных наблюдениях точек возникновения за десятилетние интервалы наблюдений центральной Сибири. Вероятнее всего, увеличение интенсивности горения территории обусловлены возросшей антропогенной нагрузкой.

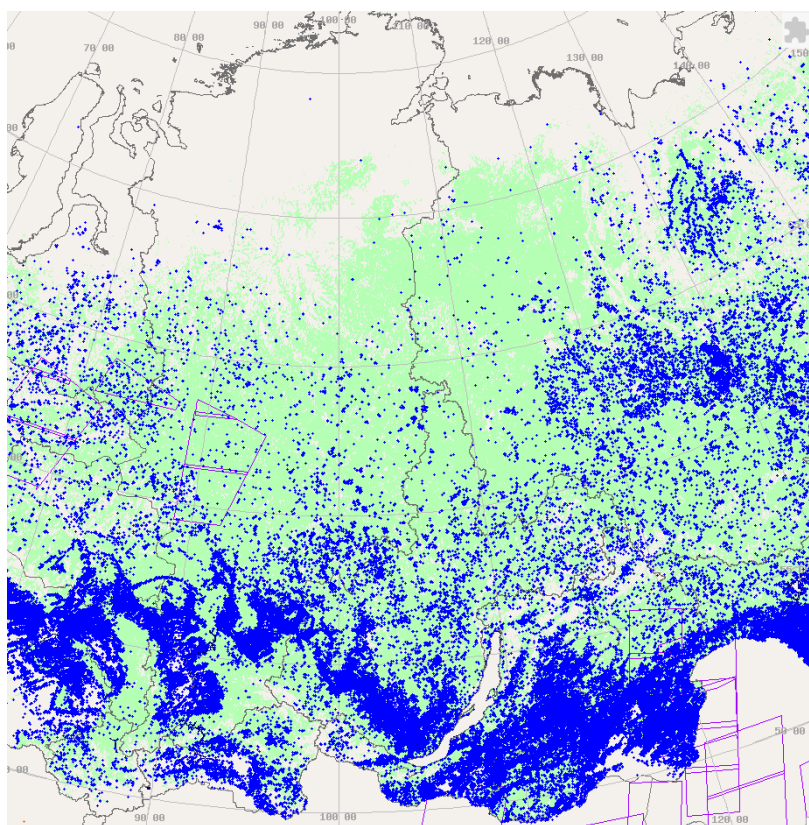


Рисунок 3.2.5.6 — Наблюдения точек возникновения лесных пожаров центральной Сибири за период 2000–2009 годы

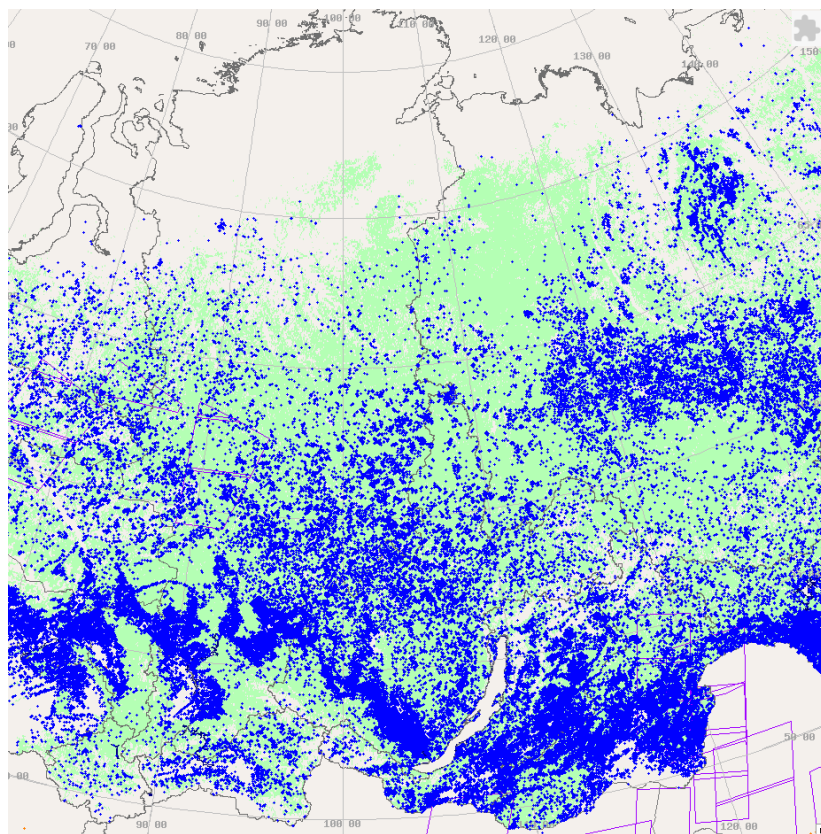


Рисунок 3.2.5.7 — Наблюдения точек возникновения лесных пожаров центральной Сибири за период 2010–2019 годы

Таким образом, созданный инструмент анализа точек возникновения пожаров в совокупности с сформированной базой данных позволяют выявлять особенности распределения точек возникновения лесных пожаров, в том числе, представленные выше.

Заключение

Результаты, представленные в настоящем разделе, показывают, что работы по соответствующим пунктам плана работ ИКИ РАН на 2020 г. выполнены.

РАЗДЕЛ 4 МОНИТОРИНГ-ОКЕАН

Введение

В настоящей главе отчёта представлены основные результаты, полученные в рамках работ по направлению «Мониторинг-Океан», определённых в плане НИР ИКИ РАН на 2019–2021 годы:

- проведение исследований нелинейной динамики спектральных компонент морского волнения методами пассивной и активной спутниковой радиополяриметрии для решения задач крупномасштабного экологического мониторинга морских акваторий. Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 4.1 настоящей главы;
- разработка научных основ совместного использования новейших микроволновых и оптических спутниковых сенсоров для оценки экологического состояния морских акваторий, включая арктические регионы. Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 4.2 настоящей главы;
- развитие методов количественной оценки параметров гидродинамических процессов в верхнем слое океана и в приповерхностном слое атмосферы на основе многолетних рядов данных ДЗЗ. Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 4.3 настоящей главы.

Настоящий раздел посвящён описанию основных результатов, полученных при выполнении данных работ. Полученные в рамках работ 2020 года результаты также изложены в основных публикациях [10, 12, 15, 16, 24, 26, 47, 49-51, 99, 105-110, 114, 115, 117].

4.1 Разработка методик и проведение исследований нелинейной динамики спектральных компонент морского волнения методами пассивной и активной спутниковой радиополяриметрии для решения задач крупномасштабного экологического мониторинга морских акваторий

В рамках исследования нелинейной динамики спектральных компонент морского волнения методами пассивной радиополяриметрии для решения задач экологического мониторинга морских акваторий в 2020 г. выполнялись как экспериментальные работы так и обработка данных эксперимента 2019 г. а также обработка данных нового российского микроволнового радиометра космического базирования МТВЗА-ГЯ.

В 2020 г. экспериментальные работы проводились на берегу Чёрного моря в Крыму близ посёлка Кацивели в конце сентября – начале октября. Ситуация с экспериментальными работами сложилась таким образом, что из-за ремонта океанографической платформы, которую администрация Черноморского гидрофизического полигона (ЧГП) РАН не успела закончить к обозначенному сроку, провести работы на платформе не удалось. Измерения радиояркостной температуры атмосферы и океана проводились с берега в Голубом заливе напротив гидрофизической платформы. Такое место положение для измерения морской поверхности было не очень удачным, по причине того, что морская поверхность была видна только на настильных углах визирования. По этой причине основное внимание в эксперименте было уделено измерению радиояркостной температуры атмосферы. Обработка данных атмосферных измерений в данный момент продолжается.

4.1.1 Исследование третьего параметра Стокса электромагнитного излучения морской поверхности

В 2020 г. основное внимание было уделено анализу данных натурного эксперимента по исследованию собственного радиотеплового излучения взволнованной морской поверхности, который проводился на платформе ЧГП РАН в период с сентября по ноябрь 2019 г. Отличительной особенностью данного эксперимента было проведение измерений на двух дополнительных поляризациях (помимо вертикальной и горизонтальной), повернутых на 45° (по часовой стрелке и против неё) относительно вертикальной. Соответственно, это позволило определять величины первых трёх параметров Стокса собственного излучения водной поверхности, используемых для решения большинства практических задач пассивного дистанционного зондирования.

При проведении эксперимента выполнялось сканирование пространства двумя идентичными радиометрами-поляриметрами с рабочей длиной волны 8 мм. Чередовались вертикальные проходы на нескольких фиксированных и равноразнесённых азимутальных углах с горизонтальными, выполняемыми на различных (в том числе и классических — 53° и 65° от надира) углах места.

Анализ полученных экспериментальных зависимостей выявил их существенное расхождение как с результатами предварительных модельных оценок, так и с данными других авторов, описанными в литературе. Было показано, что результаты измерений содержат аддитивную ошибку, величина которой имеет гармонический характер зависимости от азимутального и вертикального углов визирования. Характер ошибки практически не зависит от метеорологических условий, проявляется одинаково в данных обоих радиометрических приёмников, но имеет разную амплитуду, достигающую величины 20 К.

Среди возможных причин наблюдаемого эффекта (вариации коэффициентов усиления радиометров, механическое повреждение вращателя поляризации на эффекте Фарадея, присутствие сторонних источников излучения и т.д.) неконтролируемое изменение положения приёмников в пространстве было выделено в качестве основной. Суть эффекта заключается в том, что при сканировании морской поверхности и атмосферы возникают углы крена, рыскания и тангажа приёмника излучения, приводящие к изменению ориентации векторов напряжённости принимаемого излучения относительно горизонтальной и вертикальной составляющей излучения поверхности.

Результаты измерения интенсивности Солнца, как точечного источника излучения, результаты определения линии горизонта по радиометрическим измерениям на горизонтальной поляризации, а также данные видеонаблюдения, все эти три источника подтвердили наличие уклона основания платформы, на котором крепилось измерительное оборудование. Найденное значение составило $-0,385^\circ$ от нормали в направлении 176° от севера. Наличие данных отклонений подтвердило высказанную гипотезу, однако добиться полного схождения результатов электродинамического моделирования с данными измерений не удалось.

Далее был выполнен комплекс исследований, включающий в себя лабораторный эксперимент и серию модельных расчётов. В рамках электродинамического моделирования была проведена оценка влияния углов крена, тангажа и рыскания на величину третьего параметра Стокса. На основании выполненных расчётов были подобраны как характер вариаций этих углов, так и их величины, объясняющие результаты экспериментальных исследований. Целью лабораторного эксперимента была попытка определения реальных углов визирования радиометрических приёмников при имитации режимов сканирования, аналогичных использованным в натурном эксперименте. Для этого радиометры закреплялись таким же образом на сканирующую платформу, как это было в экспедиции, после чего с помощью системы переотражающих зеркал и лазерного луча определялись их углы крена, тангажа и рыскания, соответствующие фиксированным углам сканирования

(угол места и азимут). Было показано, что в силу отсутствия абсолютной жёсткости крепления радиометров на сканирующей платформе, а также ошибок оператора при их монтаже, действительно, происходит неконтролируемое изменение указанных углов при выполнении угломестных и азимутальных сканов. Характер вариаций этих параметров оказался схож с подобранным в рамках модельных расчётов, а учёт их абсолютных значений при проведении модельных оценок обеспечил полное совпадение с результатами натурных измерений (рисунок 4.1.1.1).

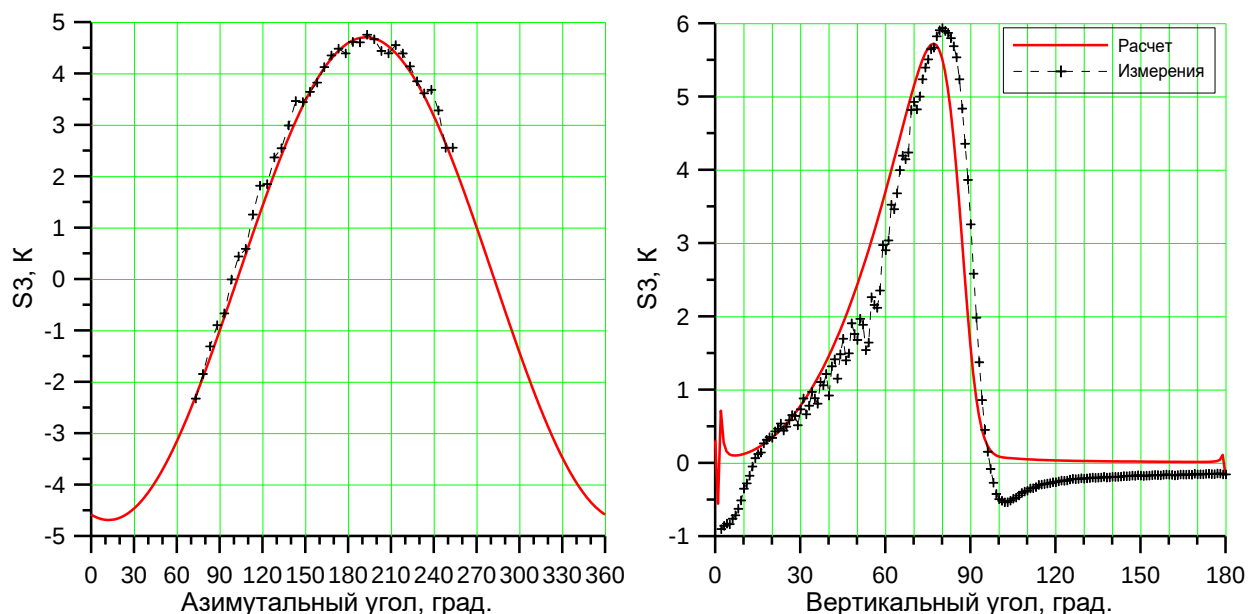


Рисунок 4.1.1.1 — Результаты сравнения экспериментально измеренных и теоретически рассчитанных (с использованием значений углов рыскания, тангажа и крена, определенных в рамках лабораторного эксперимента) азимутальной (слева, вертикальный угол 55° от надира) и угломестной (справа, азимутальное направление 227° относительно направления на север) зависимостей величины третьего параметра Стокса. Данные радиометра с рабочей длиной волны 8 мм

Результаты выполненных работ наглядно демонстрируют необходимость контроля за геометрией эксперимента, особенно при работе с третьим параметром Стокса. Продemonстрировано, что при измерении третьего параметра Стокса электромагнитного излучения морской поверхности минимальные ошибки в позиционировании прибора могут служить источником неконтролируемых ошибок с амплитудой, существенно превышающей исследуемые эффекты и явления. В случае, если в ходе измерений невозможно полностью исключить вариации углов крена, тангажа и рыскания, обязательно наличие трёх осевой системы измерения углов визирования в каждом измерительном приборе. Точность используемых датчиков контроля должна определяться исходя из чувствительности радиометрических приёмников и конкретной решаемой радиофизической задачи с учётом максимальной величины параметра $dS_3/d\alpha$, где α — любой угол из тройки «тангаж – рыскание – крен»). В описанных результатах для радиометра 8-мм диапазона и вертикального угла наблюдения в 55° , это значение составило более 10 К/град.

4.1.2 Азимутальная зависимость радиояркостной температуры по данным эксперимента 2019 года

Эффект азимутальной анизотропии заключается в зависимости измеренной радиояркостной температуры от угла между направлением ветра и направлением

зондирования (рисунок 4.1.2.1). При зондировании в надир азимутальная анизотропия превращается в поляризационную, в этом случае радиояркостная температура максимальна, когда плоскость поляризации принимаемого излучения параллельна направлению ветра, и минимальна, когда они ортогональны.

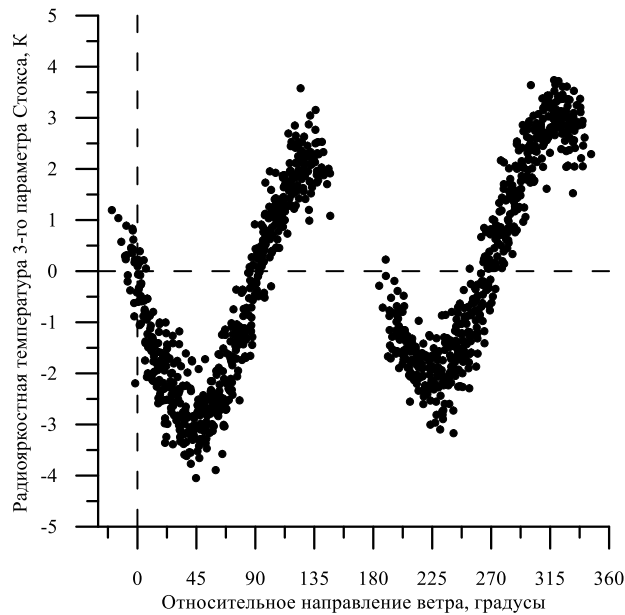


Рисунок 4.1.2.1 — Накопленные измерения третьего параметра стокса на частоте 36,0 ГГц для угла 25° и скорости ветра 15 м/с

Азимутальную анизотропию описывают гармоническими функциями: чётной для первого и второго (вертикальной и горизонтальной поляризаций) и нечётной для третьего и четвёртого параметров Стокса:

$$T_{Br}(\varphi_A) = \begin{cases} a_0 + a_1 \cdot \cos(\varphi_A) + a_2 \cdot \cos(2\varphi_A), & v, h, s1, s2, \\ a_0 + a_1 \cdot \sin(\varphi_A) + a_2 \cdot \sin(2\varphi_A), & s3, s4, \end{cases}$$

где: φ — направление ветра; T_{Br} — радиояркостная температура. Для исследования величины анизотропии анализируют только коэффициентов a_1 и a_2 , а коэффициент a_0 , связанный с постоянным уровнем, в данной задаче не рассматривается.

В эксперименте данные азимутальных сканирований получены при различных скоростях и направлениях ветра. Они были отсортированы по скоростям ветра и, используя метеоданные, приведены к относительному направлению ветра. На рисунке 4.1.2.1 приведён пример накопленных в эксперименте 2019 г. азимутальных записей третьего параметра Стокса, полученных при скорости ветра 15 м/с на вертикальном угле наблюдения 25 градусов. Записи приведены к относительному направлению ветра.

Зависимости как на рисунке 4.1.2.1 построены для всех скоростей ветра, углов вертикальных углов наблюдения, поляризаций и экспериментальных периодов. Дальнейшие описания и выводы относятся ко всему объёму исследований.

Из представленного графика (рисунок 4.1.2.1) и аналогичных для вертикальной и горизонтальной поляризаций можно сделать выводы, что существует сильная азимутальная зависимость между восходящим радиоизлучением, скоростью и направлением ветра. На рисунке 4.1.2.2 представлены коэффициенты гармонической функции a_1 и a_2 в зависимости от скорости приводного ветра для угла наблюдения 55°. Аналогичные зависимости получены и для других углов наблюдения и за разные экспериментальные периоды.

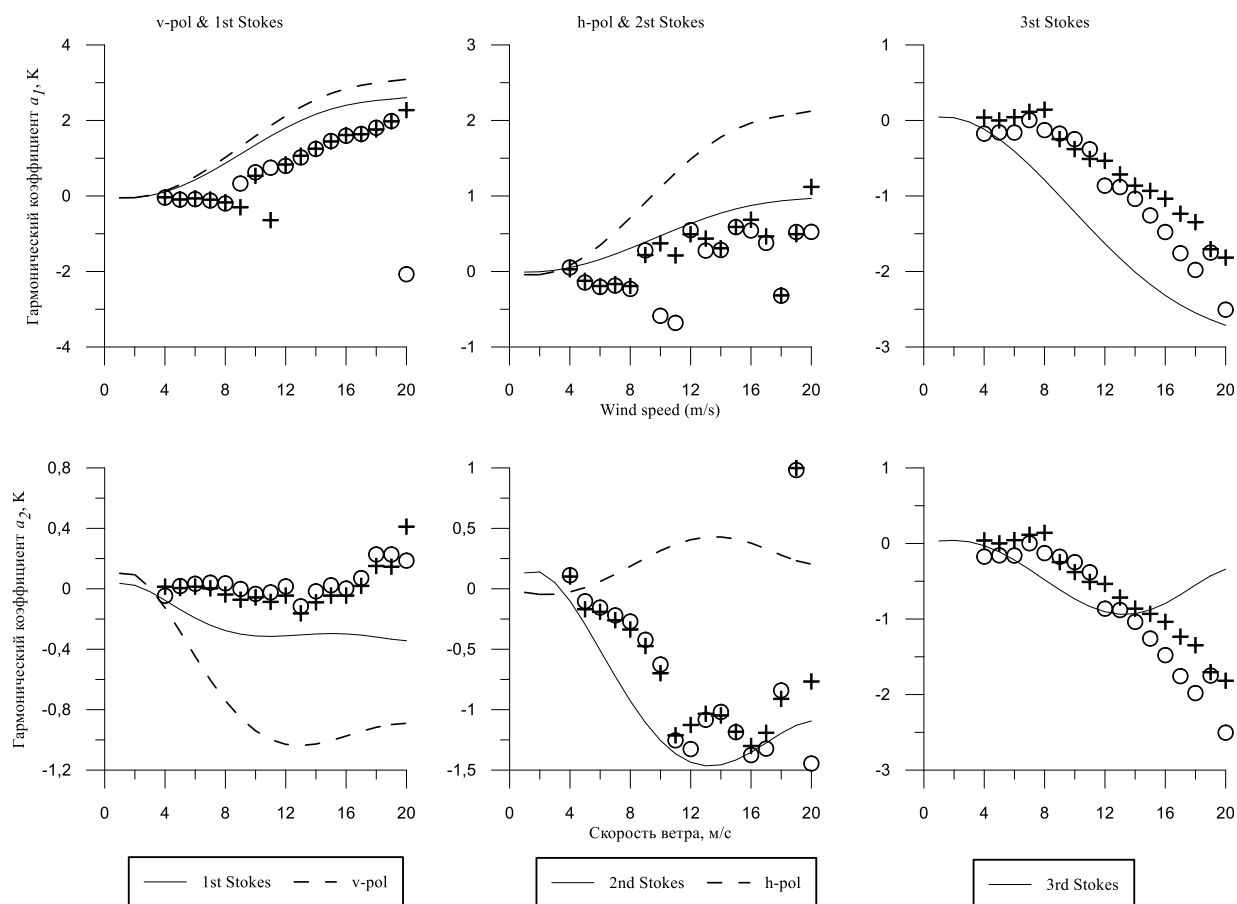


Рисунок 4.1.2.2 — Гармонические коэффициенты азимутальной зависимости для частоты 36,5 ГГц и угла наблюдения 55 градусов по данным эксперимента 2019 г. Крестики и кружки — экспериментально полученные коэффициенты по двум независимым радиометрам. Сплошная и пунктирная линии — модельные функции

Анализ большого количества экспериментального материала показал:

- есть сильная зависимость радиоизлучения от скорости и направления ветра;
- в диапазоне исследованных вертикальных углов наблюдения эта зависимость имеет разную величину. При увеличении вертикального угла наблюдения происходит постепенное нарастание величины анизотропии;
- модельные расчёты сходятся с результатами натурных измерений в основном только для третьего параметра Стокса;
- для вертикальной поляризации есть сильные различия, однако, только для второго гармонического коэффициента a_2 ;
- сильные различия обнаружены при сравнении экспериментальных данных с горизонтальной поляризацией. Как можно увидеть на графике (рисунок 4.1.2.3) определенные по эксперименту коэффициенты анизотропии достаточно адекватно описываются расчётом для второго параметра Стокса, нежели для горизонтальной поляризации. Это вопрос, на который в настоящее время ответа нет;
- отмечено, что модельные зависимости, составленные разными научными коллективами, расходятся между собой.

4.1.3 Разработка оптического волнографа для регистрации полного спектра уклонов морской поверхности

В 2019 г. были разработаны и экспериментально исследованы волнографы, которые использовали для регистрации волнения ИК-излучение. Было показано, что в созданном ИК-волнографе длина каждой нити чётко регистрируется как днём, так и ночью. Расположение нитей возможно на очень малых расстояниях (до 2 см), что существенно повышает пространственное разрешение, по сравнению с известными методами. Возможна автоматическая обработка данных, практически в режиме онлайн. Полученные к настоящему моменту результаты измерений демонстрируют высокий потенциал предложенного метода, а получаемые с его помощью данные о характеристиках волнения позволят сделать новые шаги в понимании процесса формирования уходящего излучения водной поверхности и, тем самым, будут способствовать развитию модели переноса излучения, используемой при решении задач дистанционного зондирования акваторий.

В 2020 г. была проведена работа по дальнейшему развитию методов определения параметров волнения с использованием оптических сенсоров. В данном разделе рассмотрены результаты создания макета устройства для регистрации полного спектра уклонов поверхности и приведены результаты экспериментальных испытаний макета.

На рисунке 4.1.3.1 представлена схема измерений параметров волнения. Источник коллимированного света 1 направлен вертикально вниз к водной поверхности 2. Отражённый блик падает на матовый экран 3, освещённость которого регистрируется на видеокамеру 4. Рядом с освещённым участком поверхности располагают вертикальную гидрофильную струну 5, струну освещают сторонним источником света 6, на видеокамеру 7 регистрируют блик света, отражённый от мениска на струне, по которому определяют высоту поверхности, а плотность вероятности уклонов усредняют по серии видеок кадров на камере 4 с учётом изменения текущей высоты водной поверхности.

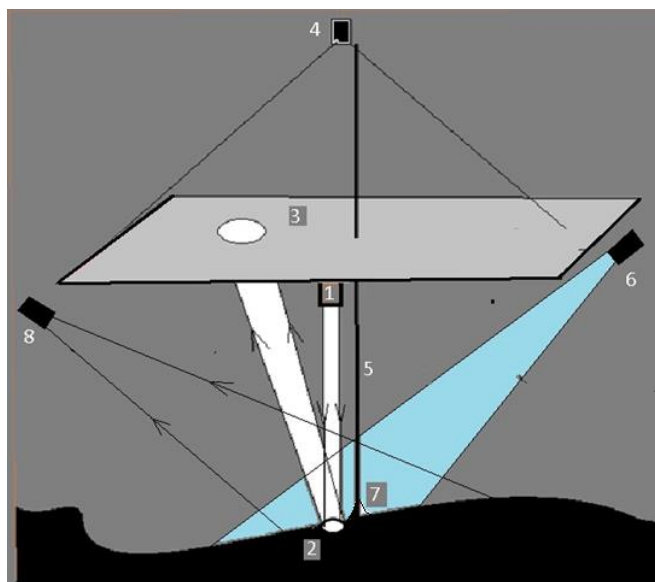


Рисунок 4.1.3.1 — Оптическая схема измерений

На рисунке 4.1.3.2 представлена фотография макета экспериментальной установки, закреплённая на пирсе посёлка Кацивели. В качестве источника света использован фиолетовый лазер мощностью 2,5 Вт. Отражённый от наклонной поверхности блик формировал на матовом экране яркое пятно, которое регистрировалось видеокамерой, установленной над экраном. Форма и положение блика зависели от формы поверхности. Интегрирование распределения бликов во времени даёт полное распределение уклонов.

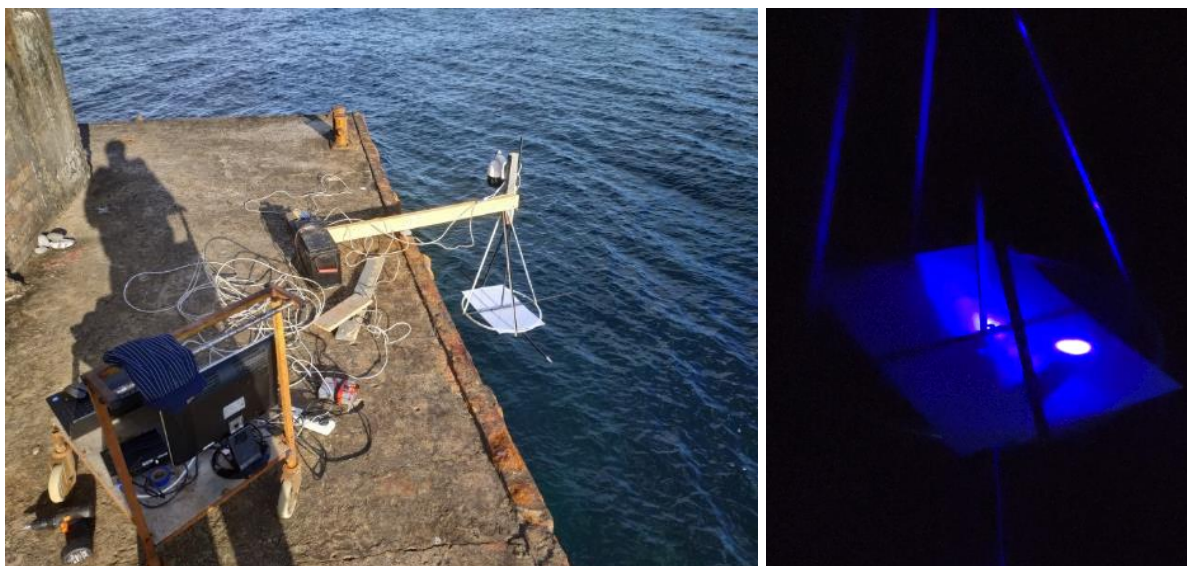


Рисунок 4.1.3.2 — Макет экспериментальной установки, расположенной на пирсе (слева). Блик (справа) регистрировался на экране с помощью видеокамеры

Экспериментальные испытания подтвердили возможности метода. При соответствующей фильтрации сигнала с помощью интерференционного светофильтра измерения, по-видимому, можно будет проводить и в дневное время суток.

4.1.4 Восстановление температуры поверхности океана по данным прибора МТВЗА

В 2020 г. проводились работы, связанные с обработкой данных нового российского микроволнового радиометра МТВЗА-ГЯ. Целью такой работы является выработка алгоритмов построения продуктов метеообстановки по всему земному шару и представление их в открытом доступе на сайте ЦКП ИКИ РАН. Одним из параметров глобальной метеообстановки является температура поверхности океана (ТПО).

Для восстановления параметров системы «океан – атмосфера» по радиометрическим спутниковым измерениям в основном применяют следующие подходы и методы: итерационный подход, нейронные сети, построение регрессий. Для восстановления температуры поверхности океана (ТПО) предлагается использовать регрессионный алгоритм, включающий в себя все доступные радиометрические каналы прибора МТВЗА.

Под радиометрическим каналом прибора МТВЗА понимается информация, полученная на одной частоте и на одной поляризации. Например, канал T_187Н — это измерения на частоте 18,7 ГГц и на горизонтальной поляризации.

Первоначально, необходимо, чтобы все радиометрические каналы имели информацию, если хотя бы один из каналов не имеет данных, результат восстановления будет неверным. Так же алгоритм применим только над поверхностью океана.

Наиболее очевидным соотношением для регрессионного анализа данных, может быть соотношение вида:

$$Parametr = aw_1 + bw_2 + cw_3 + \dots + a^2v_1 + b^2v_2 + c^2v_3 + \dots,$$

где: a , b , c и т.д. — радиометрические каналы; w_i и v_i — коэффициенты, определяемые в ходе обучения. Такая формула применялась при анализе данных SSM/I, и как было исследовано ранее, показано, что при добавлении слагаемых со степенью больше, чем два, коэффициент корреляции увеличивается незначительно.

При подборе регрессионного соотношения для прибора МТВЗА было выявлено, что уравнения в виде полиномов, составленных из набора доступных радиометрических каналов, не достаточно адекватно описывают связь радиоярких температур с физическими параметрами (в данной работе это ТПО). Поэтому было принято решение использовать многочлен составленный по аналогии с формулой:

$$(a + b) + (a + b)^2 = (a + b) + (a^2 + 2ab + b^2).$$

Всего доступно 24(!) радиометрических канала, поэтому получается достаточно много членов вида $(2ab)$. Для набора из 24 каналов таких перекрёстных членов уравнения получилось 276(!), а также 24 обычных членов вида (a) и 24 члена вида (a^2) . И именно с помощью них получается адекватная связь физического параметра с радиояркой температурой.

Регрессионная формула состоит из 324 слагаемых. В общем виде формулу можно записать так:

$$\text{ТПО} = \sum_{i=1}^{24} a_i \cdot \text{Ch_}a_i + 2 \sum_{j=1}^{276} b_j \cdot \text{Ch_}b_j + \sum_{k=1}^{24} c_k (\text{Ch_}a_k)^2, \quad (1)$$

где a_i, b_j, c_k — коэффициенты регрессии; $\text{Ch_}a, \text{Ch_}b$ — набор радиометрических каналов. Набор $\text{Ch_}a$ соответствует слагаемым из радиометрических каналов (например: 10,6(Г), 55,63(В), где Г — горизонтальная поляризация; В — вертикальная). Набор $\text{Ch_}b$ соответствует слагаемым из перекрёстных радиометрических каналов вида $(2ab)$ (например: 10,6(Г)×55,63(В)).

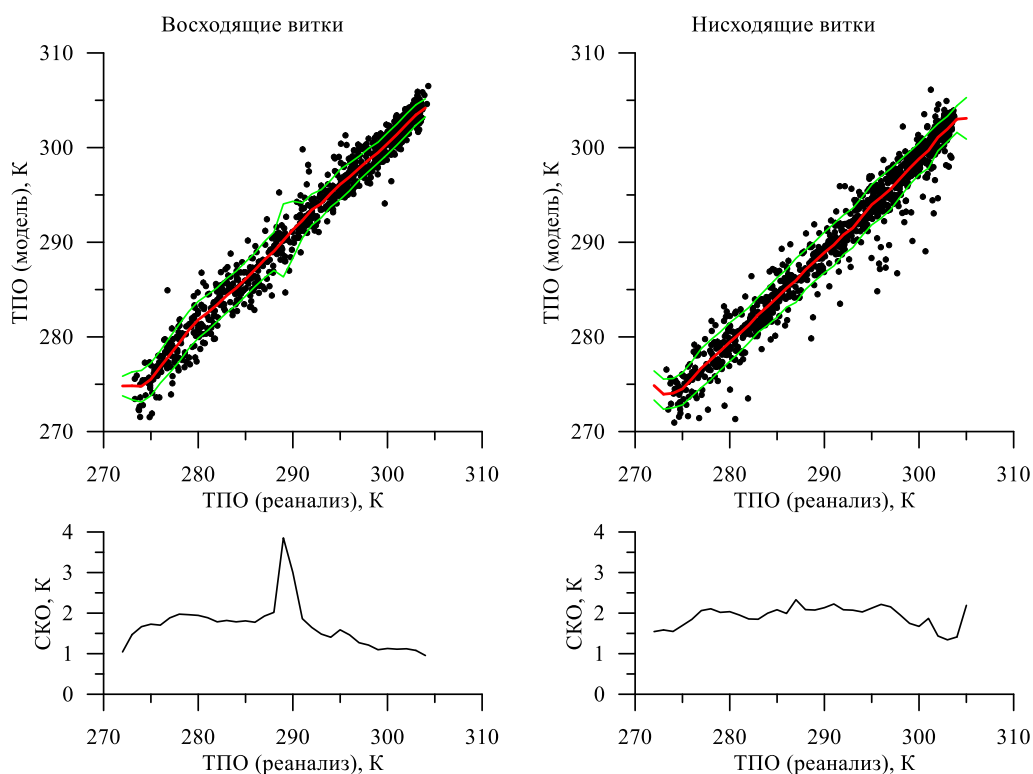


Рисунок 4.1.4.1 — Результаты восстановления ТПО по данным МТВЗА за 19 июня 2020 г.

На первый взгляд может показаться, что регрессионное уравнение очень усложнено введением перекрёстных слагаемых, однако именно они позволяют существенно повысить

точность восстановления физических параметров. Более того, при анализе уровня значимости коэффициентов регрессии и при обработке данных можно будет сократить уравнение, оставив только значимые слагаемые.

С целью упрощения моделирования и введения безразмерных переменных выполняется нормирование переменных. Нормирование необходимо для облегчения анализа коэффициентов регрессии по уровню значимости, а также позволяет выполнить сложение коэффициентов при анализе новой информации.

Для первоначального анализа были взяты данные за 19 июня 2020 г. и дополнены данными реанализа (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>). Регрессии были построены отдельно для нисходящих и восходящих треков. Для каждого были получены собственные коэффициенты регрессии (1). Используя особенности нормирования, все полученные коэффициенты были усреднены. По итоговым коэффициентам были восстановлены значения ТПО по всем имеющимся данным за указанный день (рисунок 4.1.4.1).

Результаты расчётов показали, что ТПО может быть определена с высокой степенью достоверности. Среднеквадратичное отклонение (СКО) составило $\sim 2'$ и коэффициент корреляции $\sim 0,97$ в диапазоне температур от 273 до 305 К. Это предварительная оценка и точность восстановления поля ТПО может быть улучшена применением различных способов, первым из которых является обработка и анализ большого массива имеющихся данных.

Также в результате обработки массива данных можно будет дать более подробную оценку полученных регрессионных соотношений. Возможно, получится уменьшить количество слагаемых, за счёт сравнения результатов за различные временные периоды.

4.2 Разработка научных основ совместного использования новейших микроволновых и оптических спутниковых сенсоров для оценки экологического состояния морских акваторий, включая арктические регионы

В 2020 г. были продолжены работы по разработке научных основ совместного использования данных различных сенсоров спутникового базирования. Разрабатываемые методики совместного использования оптических и радиолокационных спутниковых данных в 2020 г. применялись для решения следующих актуальных задач контроля и оценки экологического состояния морских акваторий:

- выявление последствий сгонно-нагонных явлений в прибрежных зонах морей;
- аномально позднее становление ледяного покрова в проливе Карские ворота.

Апробация разрабатываемых методик проводилась с помощью инструментария информационной системы See the Sea (STS) Центра коллективного пользования «ИКИ-мониторинг», который позволяет эффективно работать с оптическими, инфракрасными и радиолокационными данными различного пространственного разрешения, а также проводить картирование изучаемых процессов и оценивать экологическое состояние морских акваторий, включая арктические регионы.

4.2.1 Развитие методики выявления последствий сгонно-нагонных явлений в прибрежных зонах морей

Сгонно-нагонные явления относятся к непериодическим колебаниям уровня моря, вызываемым воздействием ветра и атмосферного давления на водную поверхность. Под действием сгонных явлений падает уровень моря и даже обнажается дно. При нагонных явлениях уровень моря поднимается, и могут быть залиты водой берег и прибрежные сооружения. Экстремальные сгонно-нагонные явления достаточно редки, но они представляют серьезную угрозу для судоходства, портовых и других наземных и подводных сооружений. Стандартно, высота уровня моря измеряется на уровнемерных

постах, количество которых явно недостаточно для получения объективной пространственно-временной картины сгонно-нагонных явлений на различных участках побережья. Появление данных спутниковой альтиметрии позволило значительно улучшить покрытие акваторий морей данными об уровне моря, однако, измерения вдоль редко расположенных треков с периодичностью в 10 дней и проблемы с качеством данных в прибрежной зоне также не позволяют эффективно использовать этот вид спутниковой информации для оперативного мониторинга и исследования сгонно-нагонных явлений.

В 2020 г. нами была разработана методика применения данных оптических датчиков спутникового базирования для оперативной диагностики сгонов и нагонов и определения оптимальных комбинаций каналов приборов MSI, установленных на спутниках Sentinel-2A, -2B; и OLI/TIRS на спутнике Landsat-8. Доказано, что для четкого определения зон осушки дна или затопления прибрежной зоны в результате сгонно-нагонных явлений необходимо использовать коротковолновые инфракрасные каналы, например, 11-й и 12-й спектральные каналы MSI, или 6-й и 7-й каналы OLI. Разработанная методика была использована для мониторинга экстремального сгона в Таганрогском заливе Азовского моря в ноябре 2019 г. и в ходе проведения спутникового мониторинга сгонно-нагонных явлений в северо-восточной части Каспийского моря в марте – ноябре 2019 г. При тестировании различных комбинаций каналов, наилучший результат был получен с использованием «теплого» канала (Red — 12, Green — 8, Blue — 4). Эта же комбинация каналов позволяет однозначно отличать лёд и облачность, что было с успехом использовано при проведении мониторинга осушки в Таганрогском заливе в ноябре 2019 г. (рисунок 4.2.1.1), когда восточная часть залива покрылась льдом. Для выявления областей осушки дна с таким же успехом могут применяться и другие комбинации каналов прибора MSI, например, Red — 12, Green — 11, Blue — 9 или R — 12, G — 11, B — 8. Перечисленные каналы имеют разное пространственное разрешение, но при работе в информационной системе STS это не является препятствием, так как привязка и совмещение изображений производится автоматически. В то же время, использование стандартных True color изображений (в «естественных цветах», каналы Red — 4, Green — 3, Blue — 2), как для MSI Sentinel-2, так и для OLI Landsat-8, не позволяет надёжно выявлять зоны осушки дна или затопления берегов, поскольку они проявляются в виде светло-коричневых областей, что может соответствовать и мутным водам в области речного плюма, и взмученным под действием сильного волнения водам на мелководных участках моря. Нами была проведена оценка формирования области осушки дна на основе совместного анализа трёх изображений MSI Sentinel-2: за 13 октября, когда ещё не было ветрового сгона, а береговая черта была чётко видна, за 15 ноября, когда ветровой сгон уже нарастал, и за 22 ноября, последний день, когда можно было наблюдать сгон на оптическом изображении. На рисунке 4.2.1.2 представлено изображение от 13 октября 2019 г., на которое нанесены границы осушки, определенные по данным от 15 ноября (жёлтая линия) и 22 ноября 2019 г. (голубая линия). Площадь осушки составила более 300 кв. км. Вода практически полностью отошла от одного из рукавов Дона на 6 км.

Как показали проведённые исследования, использование радиолокационных изображений, которые имеют близкие характеристики по пространственному разрешению к оптическим данным, не позволили надёжно выявлять зоны осушки дна или затопления берегов из-за специфики отражающей способности подстилающей поверхности. Однако совместное использование радиолокационных и оптических данных позволяет выявить местоположение подводных и береговых сооружений, например трубопроводов, (как это было показано при проведении мониторинга в северо-восточной части Каспийского моря), которым может быть нанесён серьёзный ущерб при экстремальных сгонно-нагонных явлениях.

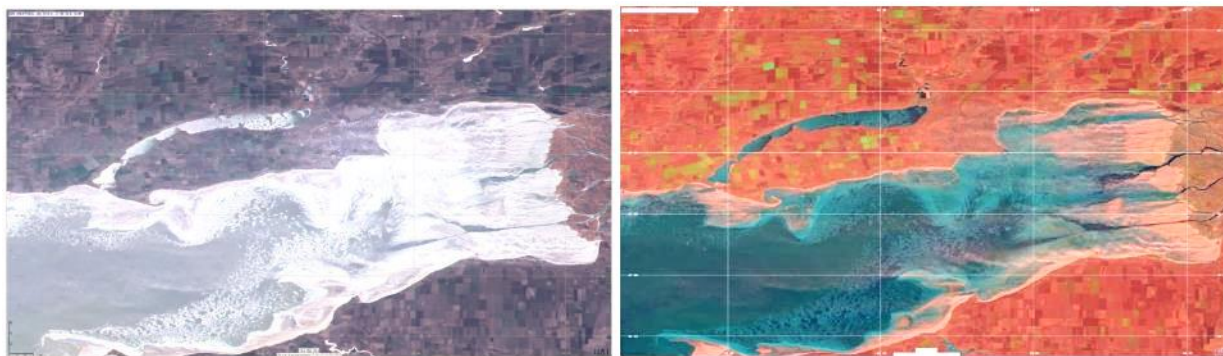


Рисунок 4.2.1.1 — Проявление областей осушки на различных цветосинтезированных изображениях, полученных с помощью MSI Sentinel-2 22 нояб. 2019 г.: слева — композиция каналов Red — 4, Green — 3, Blue — 2; справа - композиция каналов Red — 12, Green — 8, Blue — 4. Зоны осушки дна проявляются в виде светло-оранжевых областей, лёд — светло-зелёных

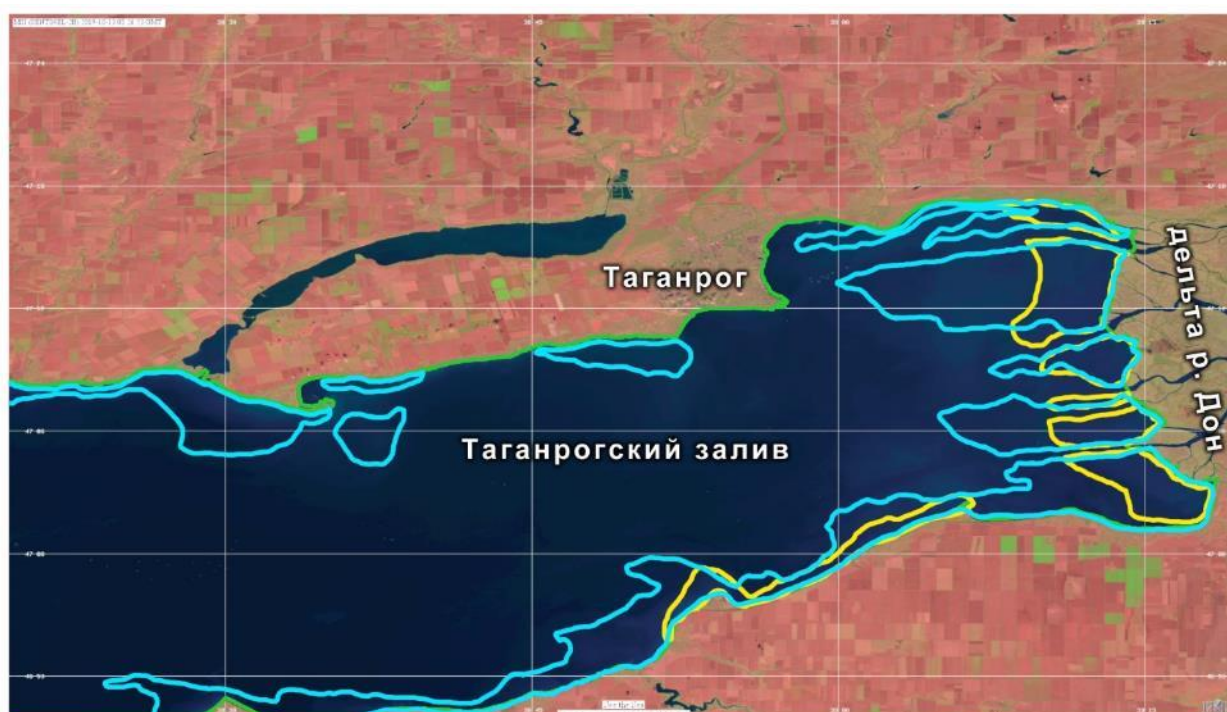


Рисунок 4.2.1.2 – Цветосинтезированное изображение MSI Sentinel-2B (Red — 12, Green — 8, Blue — 4 спектральные каналы) от 13.10.19 с наложенными на него границами областей осушки дна: 15.11.19 — жёлтая линия; 22.11.19 — голубая линия. Береговая черта отмечена зелёной линией

В заключении особо подчеркнём, что использование инструментария информационной системы See the Sea Центра коллективного пользования «ИКИ-мониторинг» позволяет эффективно работать с оптическими, инфракрасными и радиолокационными данными различного пространственного разрешения, и надёжно исследовать сгонно-нагонные явления в морях. При необходимости, полученные в данной работе результаты, могут быть конвертированы в методики и программное обеспечение, позволяющие в автоматическом режиме выделять зоны осушки или затопления прибрежных зон.

4.2.2 Комплексное использование спутниковых данных для выявления аномально позднего становления ледяного покрова в проливе Карские ворота в 2020 году

Северный морской путь (СМП) — уникальная транспортная система, стратегическое значение которого трудно переоценить. В связи с изменением климата, сокращением ледяного покрова в Арктике, СМП стал открыт для судов более длительный период в году. Пролив Карские ворота является частью СМП и, как и пролив Вилькицкого, является его узкой и проблемной частью. Если в проливе долго сохраняется ледяной покров, то судам приходится огибать архипелаг Новая Земля, что удлиняет путь почти на 2 тыс. км.

Нами проводится регулярный мониторинг акватории пролива Карские ворота и прилегающих территорий Баренцева и Карского морей с использованием всех новейших сенсоров спутникового базирования высокого пространственного разрешения, как радиолокационных данных SAR-C Sentinel-1A/B, так и данных оптического диапазона MSI Sentinel-2A/B и OLI Landsat-8. Как показывали результаты многолетнего мониторинга с 2005 по 2019 год, лёд в Карском проливе сохранялся до июля, а его становление начиналось со стороны Карского моря уже в ноябре. В 2020 году в связи с аномально повышенными температурами воздуха и поверхности воды на момент начала декабря образовался только лёд в прикромочной зоне припая в южной части Печорского моря. В самом проливе и прилегающих акваториях льда не было. На рисунке 4.2.2.1 приведён график поверхностной температуры моря за конец октября – начало декабря в 2019 и 2020 годах. Видно, что в 2020 году температура поверхности воды в среднем на 2° была выше, чем в 2019 году, и весь ноябрь не опускалась ниже 2,5 °С.

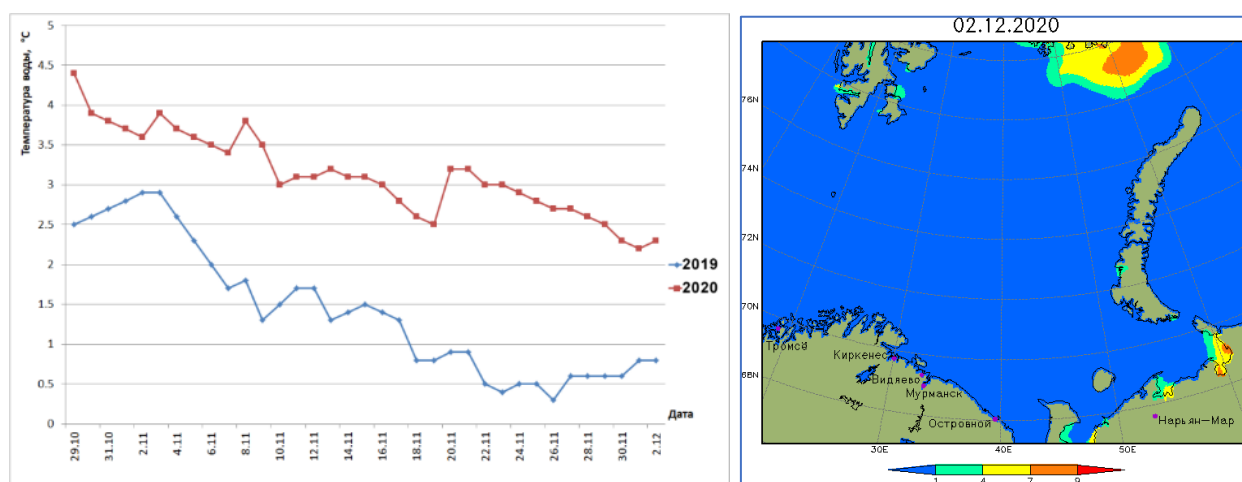


Рисунок 4.2.2.1 — Поверхностная температура воды в восточной части Печорского моря в конце октября – начале декабря 2019 и 2020 годов по данным архива погоды gr5.ru (слева); состояние ледового покрова в Баренцевом море на 2 декабря 2020 года (справа). Цветовыми градациями показана доля морской поверхности, занятой льдом (0 баллов — чистая вода, 10 баллов — сплошной лёд) по данным Гидрометцентра России (<https://meteoinfo.ru/current-sea-ice>)

В 2019 году уже 9 ноября на радиолокационных изображениях (РЛИ) отчётливо видны проявления льда (рисунок 4.2.2.2, слева), в то время как на РЛИ от 2 декабря 2020 года проявлений льда ещё не наблюдается. Об отсутствии льда в проливе свидетельствует и карта состояния ледового покрова от 2 декабря 2020 года, представленная на официальном сайте Гидрометцентра России (рисунок 4.2.2.2, справа). Оперативные карты положения судов, обновляемые каждые 15 минут на сайте <https://www.marinetraffic.com> показали, что вплоть до 3 декабря 2020 года многотоннажные

суда, танкеры и контейнеровозы регулярно проходили через пролив. С 3 декабря танкеры, следующие из Карского в Баренцево море, начали огибать архипелаг Новая Земля с севера. А на РЛИ от 3 декабря 2020 года в юго-восточной части пролива отчётливо проявились ледовые поля.

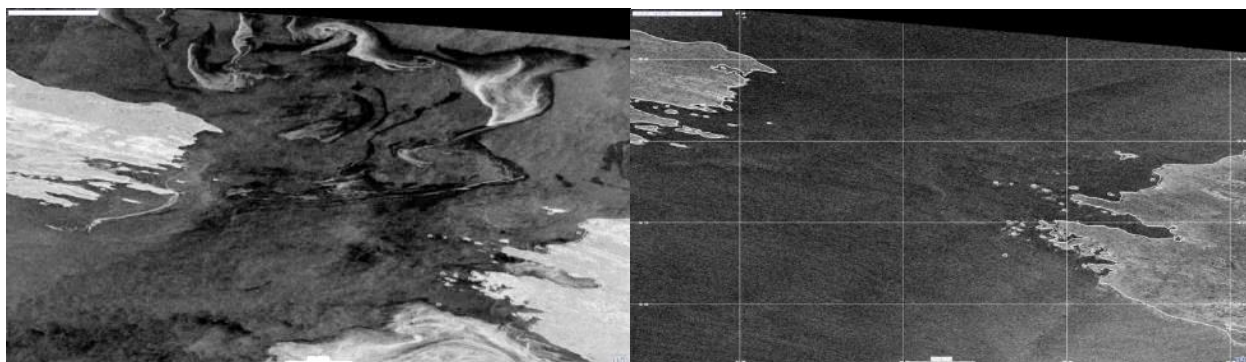


Рисунок 4.2.2.2 — Фрагменты радиолокационных изображений SAR-C Sentinel-1, полученных над акваторией пролива Карские ворота: 9 ноября 2019 года (слева); 2 декабря 2020 года (справа)

4.3 Развитие методов количественной оценки параметров гидродинамических процессов в верхнем слое океана и в приповерхностном слое атмосферы на основе многолетних рядов данных ДЗЗ

4.3.1 Апробация методов выявления влияния сезонной изменчивости поверхностных течений на распространение плёнок естественных нефтепроявлений в юго-восточной части Чёрного моря на основе многолетних рядов данных спутникового дистанционного зондирования

Многолетние ряды данных спутникового дистанционного зондирования морской поверхности, полученных для района выхода естественных углеводородов с морского дна используются в качестве экспериментальной основы решения задачи выявления поверхностных течений, преобладающих в районе интереса на момент наблюдений. Траектории распространения плёнок естественных нефтепроявлений являются при этом опосредованным параметром

Экспериментальную основу исследования составляет массив многолетних спутниковых данных, накопленный за десятилетний период с 2010 по 2019 год и включающий в себя данные PCA спутников Envisat (до 2012 года) и Sentinel-1A/B (начиная с октября 2014 года и сентября 2016 года соответственно). Кроме того, используются данные многоспектральных сенсоров оптического диапазона: MSI (Multispectral Instrument) спутника Sentinel-2A, сканирующих радиометров ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) Landsat-7 и OLI/TIRS (Operational Land Imager/Thermal Infrared Sensor) Landsat-8.

Тестовым районом является участок акватории над континентальным шельфом в грузинском секторе Чёрного моря в районе Поти – Батуми. Здесь расположен кластер естественных выходов нефтяных углеводородов с морского дна, и этот район относится к зонам наиболее сильного нефтяного загрязнения поверхности Чёрного моря.

Просачивающаяся с морского дна нефть, достигая поверхности, формирует на ней тонкую плёнку — нефтяной слик, дрейф и растекание которого определяются совместным воздействием ветра и поверхностных течений. Наличие поверхностной плёнки приводит к понижению интенсивности волно-ветрового взаимодействия и к затуханию резонансной гравитационно-капиллярной компоненты поверхностного волнения. Вследствие этого плёночные слики проявляются на радиолокационных изображениях, полученных спутниковыми радиолокаторами с синтезированной апертурой (PCA) как области

пониженного рассеяния, которые могут служить индикаторами загрязнения поверхности. Естественные нефтепроявления отчётливо видны и на изображениях, цветосинтезированных по данным сенсоров оптического диапазона, особенно полученных в области солнечного блика, как характерные радужные структуры повышенной яркости, окружённые тёмным ореолом (рисунок 4.3.1.1)

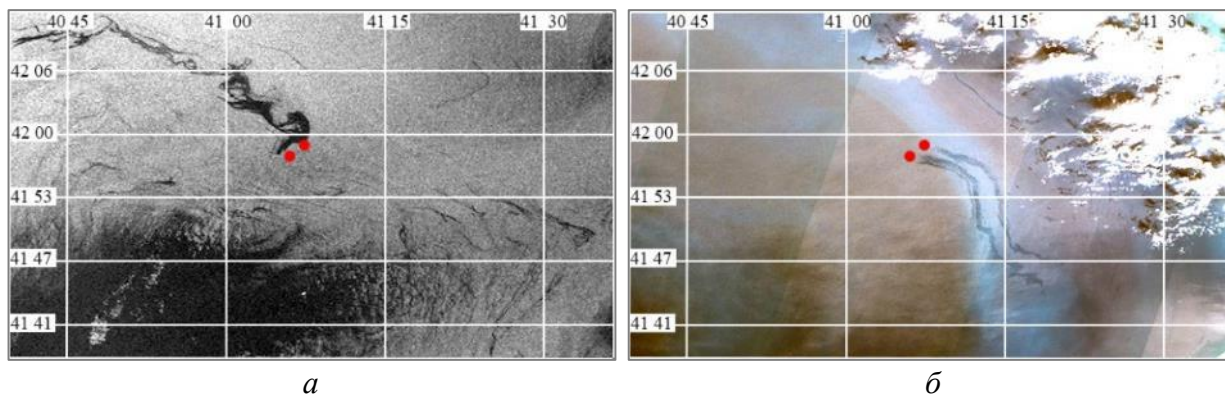


Рисунок 4.3.1.1 — Проявление плёнок естественных нефтяных загрязнений в спутниковых данных, полученных над выходами нефтеуглеводородов с морского дна в районе грузинского шельфа: *a* — ASAR Envisat от 19 сентября 2011 г., 19:01 GMT; *б* — MSI Sentinel-2A от 18 мая 2019 г., 08:17 GMT

Проанализированы траектории распространения плёнок естественных нефтепроявлений, выявленных на спутниковых снимках юго-восточной части Чёрного моря в период с 2010 по 2019 г. (рисунок 4.3.1.2).

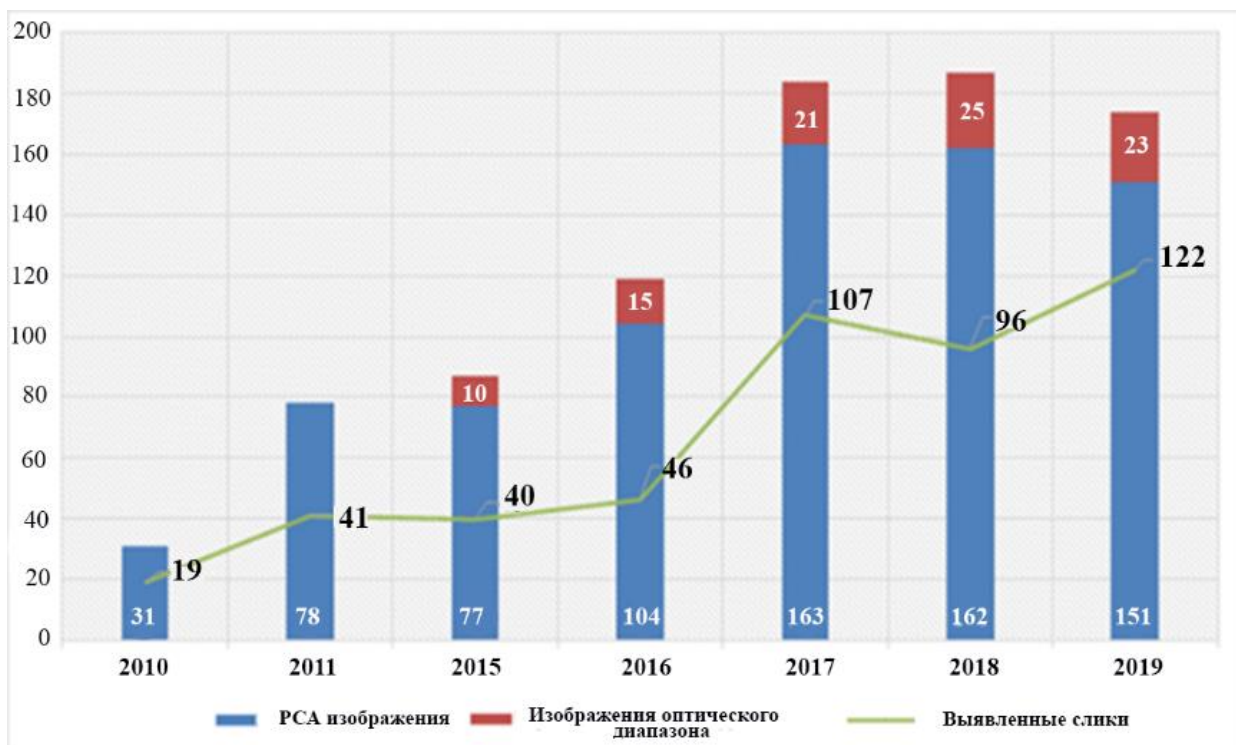


Рисунок 4.3.1.2 — Межгодовое распределение количества проанализированных спутниковых снимков и выявленных на них сликов

Для анализа спутниковых данных, построения карт нефтяного загрязнения морской поверхности и распределения вероятностей применяется инструментальный и картографический интерфейс информационного спутникового сервиса See the Sea (STS), разработанного в Институте космических исследований Российской академии наук.

К числу основных результатов следует отнести обнаружение значительной сезонной изменчивости направления распространения нефтяных плёнок естественного происхождения под влиянием локальных ветров и поверхностных течений, преобладающих в различные периоды (рисунок 4.3.1.3).

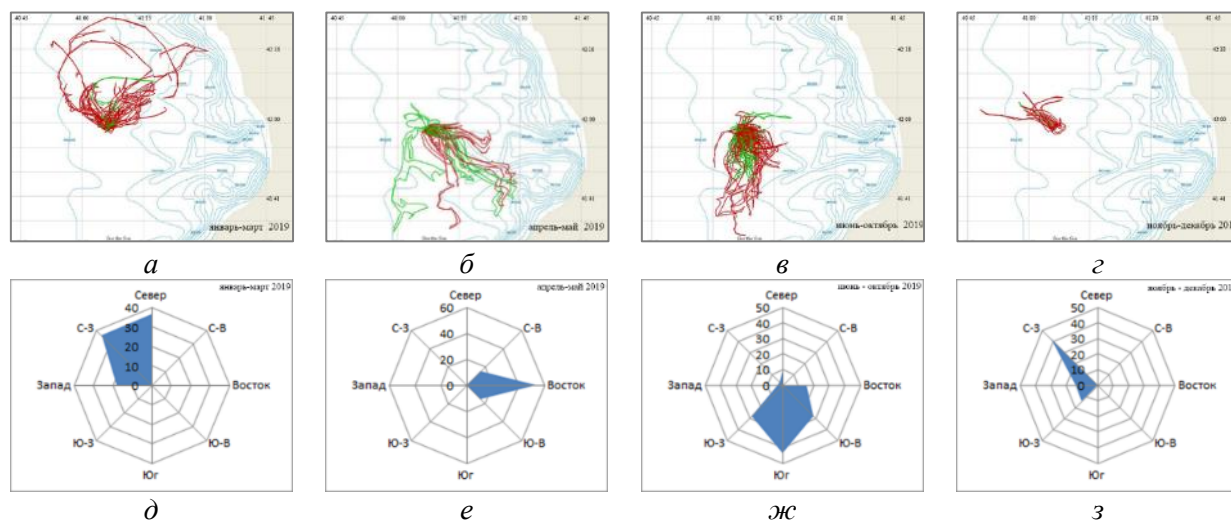


Рисунок 4.3.1.3 — Распространение плёнок естественных нефтепроявлений на морской поверхности по результатам спутниковых наблюдений в различные месяцы 2019 года:

а — январь – март; *б* — апрель – май; *в* — июнь – октябрь; *з* — ноябрь – декабрь.

Диаграммы распределения направления дрейфа плёнок естественных нефтепроявлений на морской поверхности по результатам спутниковых наблюдений в различные месяцы 2019 г.: *д* — январь – март; *е* — апрель – май; *жс* — июнь – октябрь; *з* — ноябрь – декабрь

На основе спутниковых данных нами установлено, что на каждом временном промежутке выделяется доминирующее направление распространения нефтяных плёнок после их выхода на поверхность, и это направление медленно изменяется в течение года.

Выявлено также, что сезонная изменчивость распространения нефтяных плёнок присутствует во все годы наблюдения, однако характер её проявления год от года варьирует. В частности, варьируют длительности интервалов, на которых сохраняется то или иное доминирующее направление распространения плёнок естественных нефтепроявлений.

Опираясь на полученные нами результаты, можно утверждать, что наличие сезонной изменчивости должно учитываться при оценке рисков нефтяного загрязнения морской поверхности и побережья.

Можно считать установленным, что над континентальным шельфом в грузинском секторе Чёрного моря на участке вдоль береговой черты Поти – Батуми имеет место кросс-шельфовый перенос нефтяного загрязнения. При этом вероятность переноса в сторону береговой черты высока, если доминируют северо-восточные, восточные или юго-восточные направления распространения нефтяных плёнок, что наблюдается достаточно часто. Перенос в западном направлении, в сторону глубоководной части моря, наблюдается существенно реже.

4.3.2 Сравнение результатов применения различных алгоритмов определения мутности воды и концентрации взвешенного вещества на основе спутниковых данных. Сравнение с результатами синхронных подспутниковых измерений

В 2020 г. одной из основных задач наших исследований, направленных на получение количественных характеристик водной среды, было определение мутности и значений концентрации взвешенного вещества в речных плюмах. Речной сток — главный источник поступления в море растворенных и взвешенных веществ, в том числе продуктов антропогенного загрязнения. Эти вещества во многих случаях существенно и негативно влияют на экосистемы прибрежных районов. Попадая из реки в море, материковые воды образуют прилежащие к устью мезомасштабные структуры, выделяющиеся пониженной солёностью и температурой воды, отличной от собственно морских вод, а также, как правило, повышенной мутностью, высоким содержанием взвеси и растворенной органики. Такие структуры в современной литературе принято называть «плюмами». Нами были проанализированы результаты подспутниковых измерений параметров речных вод в плюмах рек Кубань и Мзымта, и проведено сравнение с результатами спутниковых измерений. Наибольший интерес по количеству и качеству полученной информации представляют исследования, базирующиеся на экспериментах 2019 г. в приустьевой зоне р. Мзымта. С борта маломерного судна с 23 апреля по 2 мая проводились измерения с использованием CTD-зонда RBR Concerto (*англ.* Conductivity, Temperature and Depth — проводимость, температура и глубина) для определения температуры и солёности морской воды от поверхности до дна. Кроме того, производились измерения значений мутности вод с помощью двух приборов: датчика обратного рассеивания света Seapoint Turbidity и портативного турбидиметра TN400, предназначенного в наших работах для измерения мутности морской воды в приповерхностном слое (первые 10–20 см). На каждой станции измерений проводился отбор проб воды для дальнейшего определения концентрации взвешенного вещества в различных областях плюма. Все измерения были приурочены к пролетам спутников Sentinel-2 и Landsat-8. По данным этих спутников определялись значения мутности и концентрации взвешенного вещества в самом плюме и вне его.

До сих пор остаётся открытым вопрос, насколько достоверны количественные оценки, например значения концентрации взвешенного вещества (SPM — suspended particulate matter), получаемые на основе данных дистанционного зондирования, особенно в таких сложных районах как приустьевые. Для определения SPM существует ряд стандартных алгоритмов, например алгоритм C2RCC (Case 2 Regional Coast Color), рекомендованный Европейским космическим агентством для работы с данными MSI Sentinel-2, OLI Landsat-8 и большинства других сенсоров, в том числе для архивных данных, и внедрённый в программный пакет SNAP. В последнее время широкое распространение получил разработанный сотрудниками Королевского бельгийского института естественных наук RBINS программный комплекс ACOLITE, реализующий, как новаторский алгоритм атмосферной коррекции с помощью метода DSF (dark spectrum fitting), так и расчёты ключевых оптических параметров, позволяющих получать количественные характеристики, такие как концентрация взвешенного вещества или хлорофилла-а. Упомянутые алгоритмы разработаны в 2009 году и усовершенствованы в 2015 г. группой учёных под руководством Bouchra Nechad, по имени которого они названы. Также на основе алгоритма Nechad 2009 для сильно замутнённых вод был разработан алгоритм группой учёных под руководством Dogliotti A.I. (Dogliotti et al., 2015).

В 2020 году нами проведено сравнение результатов, полученных с помощью четырёх алгоритмов, а именно: C2RCC, Nechad 2009, Nechad 2015 и Dogliotti, с помощью которых по данным MSI и OLI были получены значения SPM и мутности, с нашими результатами измерений *in situ*.

Следует отметить, что мутность воды измеряется в NTU (Nephelometric Turbidity Unit), а концентрация взвешенного вещества (г/м^3), и нет алгоритма пересчёта из одних

единиц в другие, поскольку эти характеристики имеют разный физический смысл и разные способы измерений *in situ*. Значение мутности существенно зависит от размера и состава частиц взвешенного вещества. Одна из наших задач состояла в выявлении корреляции между этими двумя параметрами в данном конкретном районе, в данный конкретный период весеннего половодья. На рисунке 4.3.2.1а схематично показаны положения станций за весь период экспедиционных работ и диаграмма рассеяния значений концентрации взвешенного вещества в пробах воды и величины мутности воды, определенной с помощью портативного турбидиметра для всех дней измерений в апреле – мае 2019 г. Анализ показал, что концентрация взвешенного вещества в пробах воды, взятых с глубины 10 - 20 см, прямо пропорциональна мутности поверхностного слоя воды, определенной с помощью портативного мутномера. Как показано на рисунке 4.3.2.1б, полученные значения хорошо аппроксимируются прямой, проходящей через начало координат $SPM\ in\ situ = 0,84 \times Turb\ in\ situ$. Коэффициент корреляции очень высок и составил $R^2 = 0,982$.

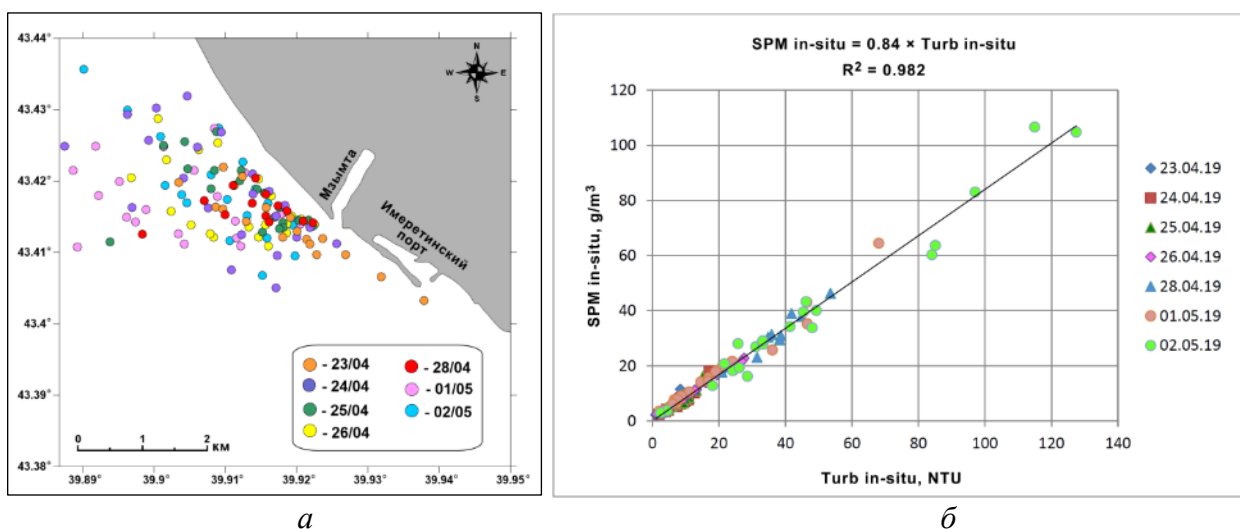


Рисунок 4.3.2.1 — Схема расположений станций подспутниковых измерений в приустьевой зоне р. Мзымта в апреле – мае 2019 года (а); диаграмма рассеяния значений концентрации взвешенного вещества в пробах воды ($SPM\ in\ situ$) и величины мутности воды, определенной с помощью портативного турбидиметра ($Turb\ in\ situ$) для всех дней измерений в апреле – мае 2020 г. (б)

Эта зависимость проявлялась во всех без исключения пробах морской воды и не зависела от дня эксперимента и погодных условий. Учитывая такую высокую корреляцию между данными портативного мутномера и концентрацией взвеси, можно сделать предварительный вывод, что, во всяком случае, в данном районе можно производить преобразования и переводить пересчёт одних единиц в другие (NTU в $г/м^3$). Главным преимуществом такого результата является возможность не проводить трудоёмкие работы по взятию и обработке проб воды, а использовать только оптические датчики мутности. Естественно, необходимо проведение ещё ряда подобных экспериментов в разные сезоны и при разных метеоусловиях.

Корреляционный анализ данных о массовой концентрации взвешенного вещества был проведён для данных, полученных при фильтрации проб воды и по данным спутникового зондирования. Для проведения совместного анализа были отобраны результаты, полученные 26 апреля, потому что только в этот день была безоблачная погода. На рисунке 4.3.2.2а представлена карта концентрации взвешенного вещества, построенная на основе данных MSI Sentinel-2B с помощью алгоритма C2RCC. Как показали наши измерения и анализ спутникового изображения, граница плюма быстро сдвигалась в сторону открытого моря со скоростью до 13 см/с, поэтому часть станций, на которых

производились измерения *in situ* либо находились внутри плюма, идентифицируемого на спутниковом изображении, либо вне его. Таким образом, все станции были разделены на три основные группы. К первой группе относятся станции, измерения на которых были проведены в близкое к пролёту спутнику время, они располагались внутри плюма, как по данным визуальных наблюдений с судна, так и по спутниковым наблюдениям. На рисунке 4.3.2.2б им соответствуют голубые маркеры, которые аппроксимируются прямой с $R^2 = 0,99$.

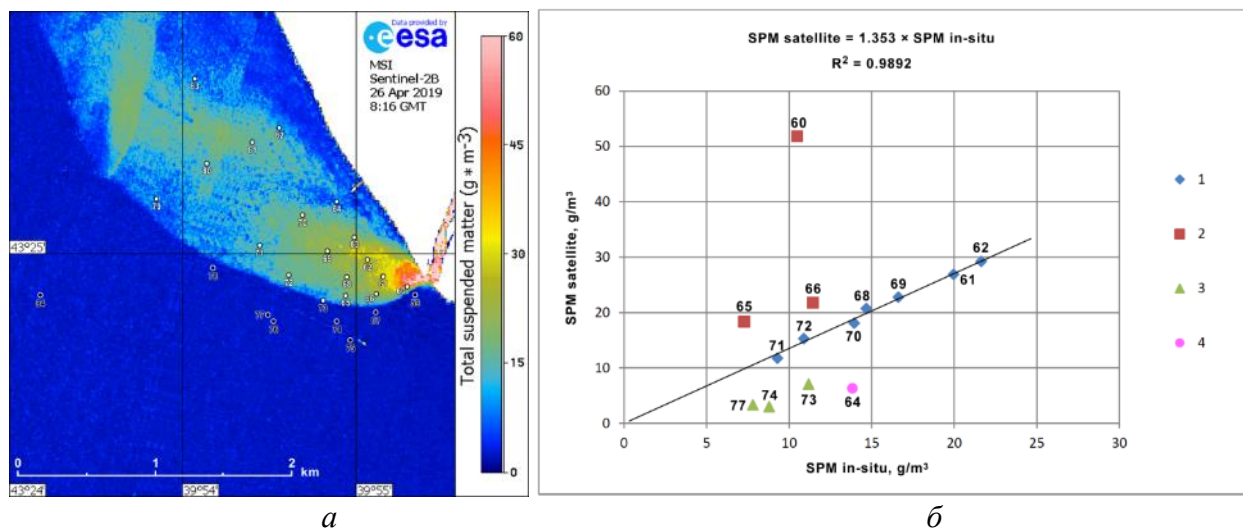


Рисунок 4.3.2.2 — Карта концентрации взвешенного вещества, полученная на основе данных MSI Sentinel-2B от 26 апреля 2019 года с помощью алгоритма C2RCC, на которой отмечены положения станций подспутниковых измерений в тот же день (а); диаграмма рассеяния значений концентрации взвешенного вещества в пробах воды (SPM *in situ*) и значений, полученных на основе данных MSI Sentinel-2B от 26 апреля 2019 года (SPM *satellite*) (б). Номера станций указаны рядом с метками. Линия тренда проведена только для 1-й группы. Комментарии в тексте

Вторая группа станций, отмеченная на рисунке 4.3.2.2б красным маркером, это станции, которые в момент измерений *in situ* находились на границе плюма, а в момент спутниковой съёмки внутри него. Поэтому значения концентрации взвеси по спутниковым данным сильно превосходят значения натурных измерений. Особо следует отметить серьезные различия в результатах измерений на станции 60. Эта станция находилась непосредственно у устья, значения SPM на ней максимальны, они составили 51,8 г/м³, однако измерений *in situ* показали только 10,5 г/м³. Такое различие можно объяснить тем, что непосредственно у устья приходится работать в сложных условиях. Речные воды выносятся в море с большой скоростью, на мелководье происходит их взаимодействие с морскими водами сопровождаемое обрушениями, резким перемешиванием. Взятая на этой станции проба могла содержать не максимальную концентрацию взвеси. Мутность, а соответственно и концентрация взвеси у самой поверхности может быть несколько ниже, чем на большей глубине, вследствие выпадения более крупных взвешенных частиц на дно.

Третья группа станций находились внутри плюма во время отбора проб (зелёные маркеры). Но измерения на этих станциях проводились через час-полтора после пролёта спутника, когда граница плюма сместилась относительно границы, определяемой по спутниковому изображению, почти на 250 м. На спутниковом изображении они находятся вне плюма. Соответственно SPM на этих станциях меньше, чем концентрация взвеси, измеренная *in situ*. К четвертой группе относится отмеченная пурпурным маркером на рисунке 4.3.2.2б станция 64, которая будучи внутри плюма во время измерений *in situ* оказалась практически вне его во время спутниковой съёмки. Этим объясняются более высокие значения концентрации взвеси в пробах воды, чем измеренные дистанционно.

Таким образом, используя алгоритм C2RCC, мы получили хорошее соответствие между спутниковыми значениями SPM и измеренными *in situ*, но только для тех станций, на которых пробы отбирались практически синхронно с пролётом спутника. В силу высокой динамической активности самого плюма, временной люфт равный трём часам, во время которого проводились натурные измерения, способен оказывать сильное негативное влияние на результат сопоставления количественных характеристик, полученных дистанционно и *in situ*.

При использовании алгоритмов Nechad 2009, Nechad 2015 и Dogliotti мы ограничились данными только с тех станций, измерения на которых осуществлялись практически синхронно со спутниковой съёмкой (группа 1).

Основное преимущество при использовании алгоритмов, имплементированных в ACOLITE заключается в том, что можно сравнивать *in situ* данные по мутности, например с портативного мутномера, не пересчитывая по полученной зависимости (рисунок 4.3.2.1б) в SPM *in situ* (г/м³) и тем более, не беря проб воды. Результаты сравнения данных по мутности, полученных *in situ* и на основе спутниковых данных показали следующее.

Алгоритм Dogliotti при малых значениях мутности до 16 NTU даёт точно те же значения, что и по алгоритму Nechad 2009. Начиная со значений 20–25 NTU, алгоритм переходит на другой метод расчёта, который подходит только для сильно замутнённых вод, а для плюма р. Мзымта абсолютно не подходит (рисунок 4.3.2.3а). При применении алгоритмов Nechad 2009 и Nechad 2016 сравниваемые значения мутности хорошо аппроксимируются прямой линией (рисунок 4.3.2.3а). Достоверность аппроксимации $R^2 = 0,96$ в обоих случаях. Естественно, необходимо протестировать эти алгоритмы для широкого набора данных *in situ* измерений.

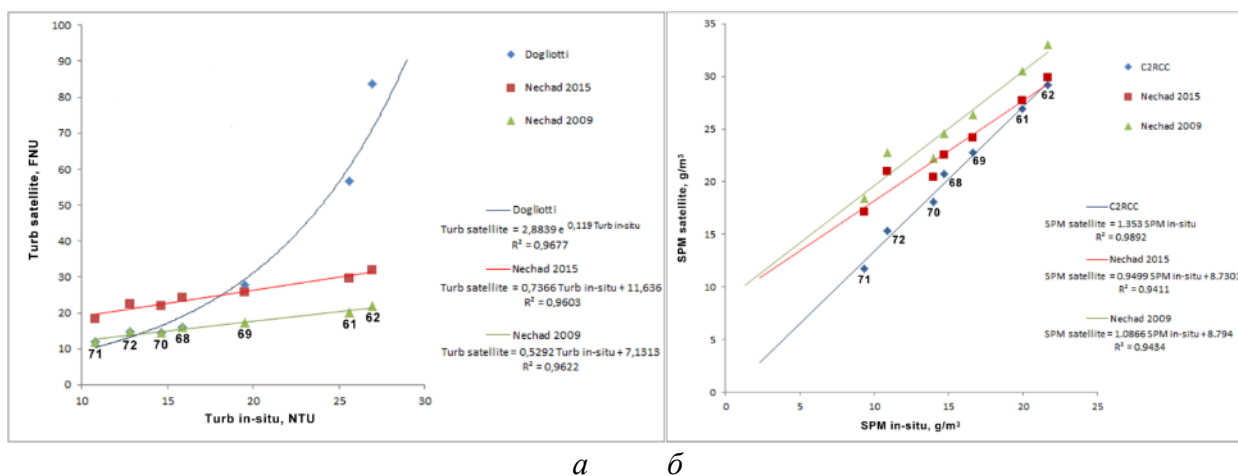


Рисунок 4.3.2.3 — диаграммы рассеяния: *а* — значений мутности, полученных с помощью портативного мутномера (*Turb in situ*) и по спутниковым данным от 26 апреля 2019 года с помощью различных алгоритмов; *б* - концентрации взвешенного вещества в пробах воды (*SPM in situ*) и значений, полученных на основе данных MSI Sentinel-2B от 26 апреля 2019 года (*SPM satellite*)

Поскольку спутниковый мониторинг распространения речного стока, особенно в районе больших городов и туристических объектов, является важной научной и практической задачей, из-за возможных серьёзных антропогенных загрязнений береговой черты, пляжей и прилегающей к устью водной акватории, необходимо продолжить проведение натурных измерений с целью верификации спутниковых данных. Мы надеемся, что запланированные будущие эксперименты позволят уточнить полученные результаты.

Одна из основных задач проведённого исследования заключалась в том, чтобы выбрать «стандартный», т.е. не региональный алгоритм определения SPM по спутниковым данным, чтобы результаты, полученные с его помощью наилучшим образом коррелировали

с результатами, полученными *in situ*. На рисунке 4.3.2.3б представлены результаты сравнения SPM *in situ* и SPM satellite, полученные по алгоритмам C2RCC, Nechad 2009 и Nechad 2015. Не вызывает сомнений, что результаты полученные с помощью алгоритма C2RCC лучше всего коррелируют с данными *in situ*. Аппроксимационная прямая для этого алгоритма проходит через начало координат, $R^2 = 0,989$ (рисунок 4.3.2.3б). Для двух других алгоритмов достоверность аппроксимации составляет 0,943 и 0,941.

Заключение

Результаты, представленные в настоящем разделе, показывают, что работы по соответствующим пунктам плана работ ИКИ РАН на 2020 г. выполнены.

РАЗДЕЛ 5 МОНИТОРИНГ-АТМОСФЕРА

Введение

В настоящей главе отчёта представлены основные результаты, полученные в рамках работ по направлению «Мониторинг-Атмосфера», определенных в плане НИР ИКИ РАН на 2019–2021 годы:

- разработка научных основ, методов и технологий обработки временных серий спутниковых многосенсорных наблюдений для решения комплекса задач исследований и мониторинга атмосферы. Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 5.1 настоящей главы;
- развитие моделей и методов анализа данных для мониторинга и прогноза состояния атмосферы, включая выявление закономерностей формирования и динамики мощных вихревых структур с учётом ветровых потоков, фазовых переходов влаги, атмосферного электричества, вариаций космических лучей в целях мониторинга и прогноза атмосферных процессов. Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 5.2 настоящей главы;
- разработка новых методов обработки данных дистанционных наблюдений в ИК и видимом диапазоне и лидарных наблюдений для определения характеристик облачности. Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 5.3 настоящей главы;
- исследование вариаций рентгеновской атмосферной эмиссии по данным спутниковых экспериментов. Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 5.4 настоящей главы;
- развитие методик решения задач восстановления профилей влажности и температуры тропосферы по микроволновым радиометрическим измерениям из космоса с использованием нейронных сетей. Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 5.5 настоящей главы.

Основные результаты проведённых по темам в 2020 г. работ кратко представлены в настоящей главе отчёта.

Полученные в 2020 г. результаты подробно изложены в списках публикаций в иностранных и российских журналах, а также в материалах различных конференций, проходивших в 2020 году, приведённых в конце отчёта [11, 14, 18-23, 46, 48, 49, 52, 54, 55-57, 59, 61, 93, 102, 103, 111, 112, 116, 121-125, 127, 133, 142, 144-146].

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.

5.1.1 Выбор спектрального участка для спутникового мониторинга содержания метана в приземном слое атмосферы

В части развития методов спутникового зондирования малых газовых составляющих атмосферы и перспективы разработки соответствующей целевой аппаратуры исследовалась возможность определения содержания (вариаций) метана в приземном слое. Метан является одним из главных климатообразующих парниковых газов атмосферы Земли. Представляет интерес и выявление изменений содержания метана в приземном слое атмосферы вследствие утечек (аварий) на газопроводах, природных подповерхностных и промышленных выбросов метана и пр. Рассматривался вопрос выбора оптимального для

дистанционного зондирования Земли из космоса спектрального участка для выявления изменений содержания метана в приземном слое атмосферы. Мощная полоса поглощения электромагнитного излучения метаном — полоса 7,7 мкм. Однако она перекрывается полосой поглощения 6,3 мкм водяного пара. Для зондирования приповерхностного слоя атмосферы и поверхности из космоса используются «окна» прозрачности. Анализировалась возможность определения содержания метана по измерениям уходящего ИК излучения в длинноволновом крыле полосы 7,7 мкм, примыкающем к «окну» прозрачности 8–12 мкм. Для этого проводился расчёт интенсивности уходящего ИК излучения в диапазоне 8–10 мкм с использованием атласа спектральных линий атмосферы: модель атмосферы — лето, средние широты, излучательная способность поверхности $\varepsilon = 1$. При расчётах функций пропускания (коэффициентов поглощения) использовался лоренцевский контур. Результаты численного моделирования показывают, что вклад двух компонент атмосферы (водяного пара и метана - при сопоставимых значениях их оптической толщин) в уходящее ИК- излучение в спектральном участке 8–8,5 мкм почти одинаков. Далее при моделировании варьировались значения содержания метана в нижнем слое атмосферы — в 5, 10, 50 раз. Результаты моделирования показывают изменения рассчитанных интенсивностей уходящего ИК-излучения при разных концентрациях метана у поверхности, что свидетельствует о возможности использования спутниковых средств этого спектрального диапазона для мониторинга содержания метана в приземном слое. Оценивалось также при моделировании влияние содержания наиболее изменчивой компоненты атмосферы — водяного пара. Можно сделать вывод о перспективе использования спутниковых измерений в участке спектра 8–8,5 мкм для мониторинга вариаций содержания метана в приповерхностном слое атмосферы с коррекцией возможным определением содержания водяного пара. Проведение таких работ будет продолжено.

5.1.2 О возмущениях ионосферы, регистрируемых посредством GPS во время метеоцунами

В июне 2014 года в Средиземном и Чёрном морях была зарегистрирована серия метеоцунами. Эти метеоцунами были инициированы уникальными метеоусловиями в атмосфере, сложившимися первоначально над Испанией с последующим их распространением через Средиземное море к Чёрному морю и Турции. В отличие от цунами, генерируемые сильными землетрясениями, метеоцунами имеют иной механизм возникновения. Синоптическая атмосферная система генерирует возмущения атмосферного давления, которые служат источником атмосферных внутренних гравитационных волн (ВГВ), распространяющихся как вниз, так и вверх от источника. ВГВ, распространяющиеся вниз приводят к возникновению метеоцунами (при выполнении резонансного условия Праудмена). В то же время ВГВ, распространяющиеся вверх и достигающие ионосферы, должны приводить к возмущениям плотности ионосферной плазмы. С помощью метода СДВ-радиопросвечивания волновода земля-ионосфера возможен мониторинг этих ионосферных возмущений. Спектральный анализ этих возмущений СДВ-сигнала показал, что имеют место аномальные вариации с периодами от 10 до 40–70 мин на трассах, проходящих вблизи областей возмущения атмосферного давления и метеоцунами. Эти периоды соответствуют атмосферным внутренним гравитационным волнам. Была также рассмотрена регистрация посредством спутников GPS ионосферных возмущений во время метеоцунами 23–27 июня 2014 года в регионе Средиземного моря. Показано, что во время этих событий в верхней ионосфере указанного региона регистрируется интенсификация возмущений, имеющих сходный с вариациями приземного давления и почти одновременными вариациями уровня моря (метеоцунами) спектральный состав. Сделан вывод о возможной связи отклика ионосферы с процессом развития метеоцунами.

5.2 Развитие моделей и методов анализа данных для мониторинга и прогноза состояния атмосферы, включая выявление закономерностей формирования и динамики мощных вихревых структур с учётом ветровых потоков, фазовых переходов влаги, атмосферного электричества, вариаций космических лучей в целях мониторинга и прогноза атмосферных процессов.

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.

Продолжено изучение воздействия внешних физических полей (вибрации, акустические шумы, турбулентные флуктуации температуры) на эффективность и разрешающую способность мониторинга гидросферы в условиях турбулентности океанской среды. В исследованиях 2020 года поставлена и решена задача подавления акустических шумов и температурных помех на регистрацию статистических характеристик поля турбулентных давлений в турбулентном пограничном слое. Также поставлена и решена задача исследования частотно-волнового спектра турбулентных давлений. Разрабатываются аналитические модели частотно-волнового спектра; исследованы методы прямых измерений волнового спектра в области малых волновых чисел (крупномасштабные компоненты), основанные на использовании приёмников конечных размеров с заданным распределением чувствительности по апертуре. Частотно-волновой спектр является одной из важнейших статистических характеристик поля турбулентных давлений. Информация о частотно-волновом спектре необходима в приложениях для расчёта структурного отклика корпусных конструкций, возбуждаемых потоком — вибраций и шумов обтекания. Ожидаемые результаты исследования частотно-волнового спектра позволят расширить представления о волновом распределении энергии турбулентных давлений и получить представление об основных особенностях волновых характеристик турбулентных давлений. Исследование волновой фильтрации занимает центральное место в наших исследованиях. Волновая фильтрация используется как инструмент анализа волнового поля. Помехоустойчивые приёмники пульсаций давления в силу своих волновых свойств должны отсекают вклад помехи в результаты экспериментальных исследований. Разрабатывается актуальная задача исследования широкополосной скалярной волновой фильтрации турбулентных давлений, являющейся частным случаем волновой фильтрации. Широкополосная скалярная волновая фильтрация предназначена для разделения вклада различных физических источников в поле турбулентных давлений. Поставлена задача о разработке скалярного фильтра низких частот за счёт выбора распределения локальной чувствительности по радиусу круглого приёмника. Планируется разработка широкополосных скалярных волновых фильтров турбулентных давлений на основе приёмника конечных размеров с равномерной волновой чувствительностью в заданном диапазоне волновых чисел и с минимальной чувствительностью вне этого диапазона.

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 учётом влияния аэрозолей, электромагнитных полей и струйных течений.

Атмосфера Земли находится под постоянным воздействием различных ионизирующих источников. Ионизация аэрозоля в стратосфере и верхней тропосфере высыпавшимися частицами космических лучей усиливает вихревую активность атмосферы. Важная роль заряженной аэрозольной примеси проявляется в генерации плазменных вихрей и накоплении вихрями энергии и массы в атмосфере при конденсации влаги. Обнаружено, что в плазменных неоднородностях возбуждаются немонокотонные электростатические возмущения. Показано, что формирование цепочечных элементов разряда (бисерных молний) в горячей неоднородной плазме определяется немонокотонным распределением зарядов и полей. Аналитические решения представлены для плазмы без магнитного поля. Применительно к атмосфере такие решения соответствуют возбуждению электростатических возмущений вдоль силовых линий геомагнитного поля. Расчёты выполнены в приближениях горячей и холодной плазмы. В электрических полях неоднородность распадается на ячеистую структуру. При неоднородном нагреве структуры генерируются ансамбли плазменных вихрей. Электрические поля в направлении вдоль геомагнитного поля ускоряют взаимодействие плазменных вихрей в геомагнитной силовой трубке. Усиливается вихревая активность атмосферы при взаимодействии плазменных вихрей с вихрями Россби. В аналитических расчётах диэлектрической проницаемости неоднородной плазмы использовано кинетическое приближение, при этом учитывается распределение частиц по скорости. Устойчивость и упругость атмосферных вихревых структур связана с электрическими полями в неустойчивой аэрозольной плазме.

5.2.3 Исследование структуры и динамики вихревых мезомасштабных структур в атмосферах планет

Объектом изучения были вихревые структуры в земной атмосфере. Динамику вихрей можно условно разделить на три стадии: генерация, существование вихрей в квазистационарном состоянии и затухание. Цель исследования – изучение структуры и динамики мезомасштабных вихрей, уделив особое влияние их на транспортировку пыли в атмосферу. Концентрированные вихри — это пространственно локализованные структуры с ненулевой завихренностью, окружённые потенциальным потоком. Эти структуры включают в себя широкий класс мезомасштабных вихрей, таких как пылевые дьяволы, водные и огненные вихри, а также более крупномасштабные и более интенсивные торнадо. Из довольно широкого класса концентрированных мезомасштабных вихрей выбраны пылевые дьяволы как наиболее простые и наиболее легко наблюдаемые структуры благодаря пылевым частицам, играющим роль трассеров. Представлены основные результаты исследований пылевых дьяволов в атмосферах Земли и Марса. Значительную часть времени вихри находятся в квазистационарном состоянии. По результатам многолетних исследований произведено суммирование аналитических моделей стационарных мезомасштабных вихрей. Используя точное решение уравнений Эйлера (уравнений Навье-Стокса в пренебрежении эффектом вязкости) для несжимаемой жидкости, создана новая модель концентрированного вихря. Модель позволяет описывать трёхмерные мезомасштабные вихревые структуры, экспоненциально локализованные не только в радиальном, но и в вертикальном направлении. Кратко обсуждаются результаты численного моделирования динамики вихрей и аналитическая модель генерации вихрей в конвективно неустойчивой атмосфере.

5.2.4 Применение концепции турбулентного вихревого динамо для ранней диагностики тропического циклогенеза и анализа аномально-интенсивных атмосферных конвективных явлений.

Основным достижением 2020 года стало применение концепции турбулентного вихревого динамо, предложенной учёными-теоретиками ИКИ РАН в 1980 – 1990-х годах, для практической реализации дистанционной точной диагностики момента зарождения тропического циклона с помощью GOES Imagery и облачно-разрешающего численного моделирования. Результаты проведённых исследований позволили получить ответ на фундаментальный вопрос тропической метеорологии о начале циклогенеза, который до настоящего времени оставался открытым — «Когда зарождающийся тропический циклон становится энергетически самоподдерживающимся и усиливающимся?» Была обоснована ключевая роль вихревой облачной конвекции – вихревых горячих башен (Vortical Hot Towers) — в обеспечении динамо-эффекта в атмосфере. Разработанный на этой основе подход для диагностики зарождения тропических циклонов был опробован с помощью идеализированного облачно-разрешающего численного моделирования и рекомендован метеорологам для дальнейшего тестирования применительно к случаям формирования наблюдаемых атмосферных вихрей. Обосновано соединение предложенного численного подхода и анализа спутниковых данных для дистанционного точного определения времени начала тропического циклогенеза. Открывающиеся принципиально новые возможности для диагностики продемонстрированы применительно к формированию атлантического урагана Isaias (2020).

5.3 Разработка новых методов обработки данных дистанционных наблюдений в ИК и видимом диапазоне и лидарных наблюдений для определения характеристик облачности

5.3.1 Процедура отбора алгоритма идентификации в реальном времени облачных образований из космоса

В обоснование создания перспективной камеры предварительного обзора бортовой идентификации облаков на космических аппаратах (КА) высокодетальной съёмки рассматривался вопрос выбора алгоритма идентификации в реальном времени облачных образований из космоса. Облачность является серьёзным помеховым фактором при проведении спутниковой съёмки в оптическом диапазоне. Современные способы борьбы с такой помехой требуют специального планирования съёмки с учётом прогноза развития облачности или последующей сшивки безоблачных участков, что уменьшает точность при меняющихся метеоусловиях или оперативность съёмки. Взамен предлагается проект системы предварительного обзора для оперативного автоматического управления, обеспечивающий принятие решения о выполнении съёмки и её целевом участке на основе информации о наличии облачности непосредственно на этапе подлёта КА без участия оператора. Изложена общая идея предлагаемого метода и общий вид алгоритма его работы. Основная часть работы посвящена рассмотрению центральной части алгоритма - автоматической идентификации облачных образований с учётом требований автоматической и автономной работы в условиях необходимости принятия решения в реальном времени. Рассмотрены известные подходы к решению такой задачи с учётом баланса между требуемыми затратами вычислительной мощности и скорости решения, требовательности метода к входным данным и применимости к автоматической работе без участия оператора с одной стороны и точности распознавания с другой. Также на основе известных алгоритмов предложен комбинированный метод, позволяющий использовать достаточной недорогую съёмочную систему в качестве источника информации и обеспечивающий приемлемую скорость обработки. Наиболее перспективными для

автономного автоматического принятия решений в условиях ограниченного времени представляется использование алгоритмов классификации на основе текстурных признаков, совместно с анализом на основе псевдостереоэффекта. Анализ быстродействия достоверности и надёжности существующих методов позволяет сделать вывод о возможности реализации автоматической оценки распределения облачности на борту КА, т.к. скорость обработки обеспечивает получение результатов за время подлёта к месту съёмки основной камерой. Авторы патента «Способ управления временем и областью съёмки при дистанционном зондировании» № 2670246 получили медаль, кубок и диплом XVI Международного Салона изобретений и новых технологий «Новое Время», проходившего в Севастополе с 23 по 27 сентября 2020 года.

5.3.2 Анализ методов моделирования трансформации распространяющегося в среде (атмосфере) пучка с помощью рассеивающих экранов

С целью сокращения априорных предположений о рассеивающей среде в задачах лидарного зондирования (функция распределения по сечениям частиц, мнимая и действительные части коэффициента преломления), предложено использовать специальные экраны с монодисперсными рассеивающими неоднородностями для моделирования трансформации пучка. В качестве неоднородностей применяются отверстия в непрозрачном экране с размерами эквивалентных поперечных сечений рассеивающих частиц. Эквивалентные поперечные сечения частиц представляют собой отношение второго и первого моментов распределения частиц по площадям поперечных сечений и могут быть определены как по цифровым микрофотографиям частиц, так и с использованием нефелометров. Такой экран является эквивалентом рассеивающего объекта по коэффициенту экстинкции и угловой трансформации пучка. Метод, с использованием экрана как промежуточного эквивалентного рассеивающего объекта, может служить дополнением к решению некорректной обратной задачи при интерпретации результатов зондирования. Предложенный подход имеет перспективы в вопросах метрологического обеспечения дистанционных измерений, так как делает возможным разработку способов перехода от трансформации реального зондирующего пучка в атмосфере к эквивалентному рассеивающему экрану и обратно.

5.4 Исследование вариаций рентгеновской атмосферной эмиссии по данным спутниковых экспериментов

В последние годы опубликован ряд научных работ о наблюдениях вариаций концентрации тепловых нейтронов в приземной атмосфере, коррелирующих с фазами луны, сейсмической активностью и метеорологическими параметрами. Для объяснения подобных эффектов предложена гипотеза о существовании ещё одного (помимо космических лучей) чисто земного источника тепловых нейтронов. Им мог бы быть природный радон диффундирующего из земной коры: альфа-частицы рождённые в цепи распада радиоактивных изотопов Rn^{220} и Rn^{220} , производят нейтроны в ядерных (α, n) реакциях с ядрами алюминия, кальция и натрия, входящих в состав почвы. В результате последующего распространения часть нейтронов достигает поверхности почвы и выходит в атмосферу. Однако в работах, упоминающих этот механизм, какие-либо количественные оценки его эффективности отсутствуют. Настоящая работа, выполненная совместно с коллегами из бразильского Института технологии аэронавтики (Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos) устраняет этот пробел. На основе программного пакета Geant4 выполнено компьютерное моделирование процессов радиоактивного распада радона и его дочерних ядер, генерации нейтронов в (α, n) реакциях с компонентами почвы и распространения нейтронов в ней. В результате выяснилось, что поток этих нейтронов существенно ниже потока нейтронов альбедо космических лучей, вследствие чего вариация

«подземных» нейтронов не может быть выделена из фона альбедных нейтронов. Следует, однако, отметить, что полученный результат ещё более затрудняет объяснение повышенных потоков тепловых нейтронов, наблюдаемых на отдельных станциях глобальной сети COSMOS (COsmic-ray Soil Moisture Observing System). Этот феномен является предметом нашего дальнейшего изучения.

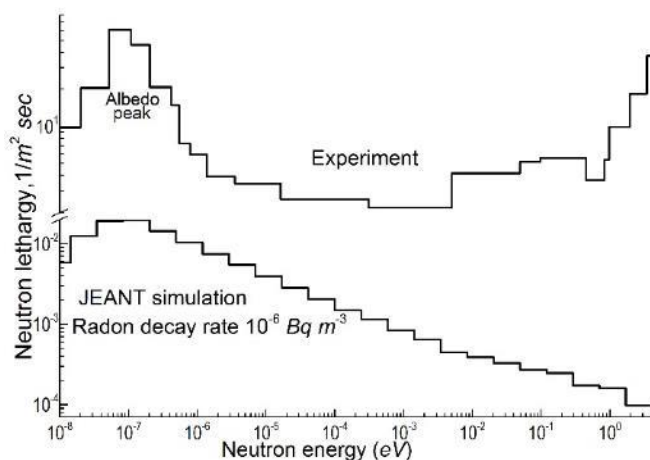


Рисунок 5.4.1 — Сравнение экспериментально измеренного и расчётного спектров нейтронов на поверхности Земли

5.5 Развитие методик решения задач восстановления профилей влажности и температуры тропосферы по микроволновым радиометрическим измерениям из космоса с использованием нейронных сетей

В текущем 2020 году основная работа по развитию методик восстановления профилей температуры и влажности тропосферы по микроволновым радиометрическим измерениям из космоса с использованием нейронных сетей была сосредоточена на освоении данных нового отечественного комплекса МТВЗА-ГЯ на борту КА «Метеор-М» № 2-2. В предыдущие годы подобная работа уже велась с предшествующим радиометром МТВЗА-ГЯ на борту КА «Метеор-М» № 2 и суть алгоритмов восстановления для нового прибора осталась прежней. КА Метеор М №2-2 имеет солнечно-синхронную полярную орбиту с высотой 850 км. МТВЗА-ГЯ имеет конический тип сканирования с углом падения 65° , что обеспечивает полосу обзора на поверхности Земли шириной 2500 км. Почти полное покрытие земного шара данными происходит два раза в сутки с пространственным разрешением пикселя данных 16×16 км. МТВЗА-ГЯ имеет 29 радиометрических каналов в диапазоне 6–200 ГГц. Три канала: $183,31 \pm 1,4$; $183,31 \pm 3$; $183,31 \pm 7$ ГГц предназначены для зондирования профиля влажности тропосферы на высотах от 0 до 8 км. Исследования предыдущих годов показали, что использование частотных каналов 18,7–37 ГГц МТВЗА-ГЯ позволяет получить две дополнительные дифференциальные весовые функции, которые улучшают восстановление профиля влажности тропосферы на высотах от 0 до 4 км. Для зондирования профиля температуры атмосферы МТВЗА-ГЯ оснащён 10 каналами в области полосы поглощения кислорода 50–60 ГГц, что позволяет восстанавливать профиль температуры до высот порядка 60 км. Качество информации о профиле температуры оказывает существенное влияние на восстановление профиля влажности тропосферы. Таким образом, математически корректно проводить восстановление профилей влажности в пяти атмосферных слоях от 0 до 8 км, однако искусственные нейросети не имеют жёстких требований на соответствие размерностей входных и выходных векторов данных, поэтому восстановление может проводиться для большего количества атмосферных слоёв. На текущем этапе работы восстановление профиля влажности тропосферы проводилось для восьми слоёв на высотах от 0 до 8 км с шагом 1 км.

Для восстановления использовалась искусственная нейронная сеть (ИНС) с топологией, используемой для предыдущего прибора, которая показана на рисунке 5.5.1.

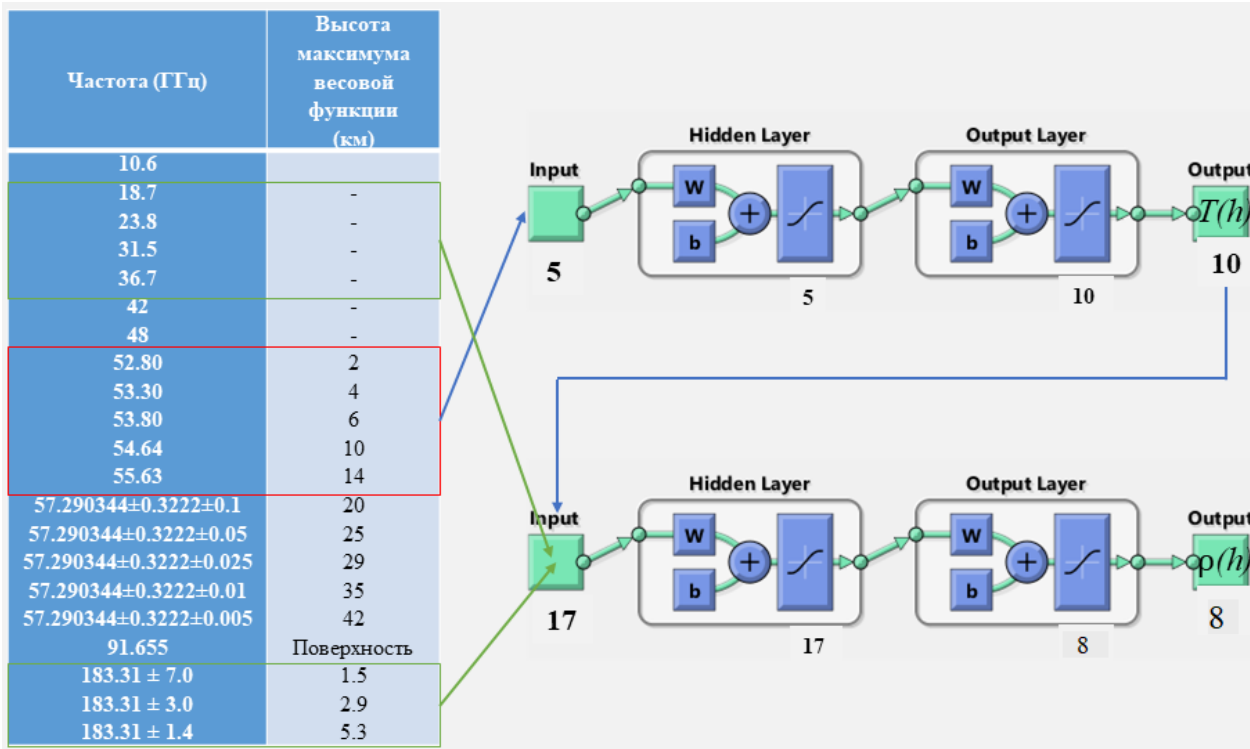


Рисунок 5.5.1 — Схема нейросетевого алгоритма восстановления профиля влажности атмосферы по данным МТВЗА-ГЯ «Метеор-М» № 2-2

Алгоритм состоит из двух последовательно соединённых операций: восстановления профиля температуры атмосферы по каналам 52,8–55,63 ГГц, затем восстановления профиля влажности с использованием входной информации о профиле температуры атмосферы и влажностных каналов МТВЗА-ГЯ. В обоих случаях, для восстановления используется ИНС прямого распространения с одним скрытым слоем и функцией активации *tanh*. Из-за малого количества имеющихся данных нового прибора для обучения ИНС не удалось накопить достаточного количества радиозондовых подспутниковых измерений. По этой причине для обучения и тестирования алгоритма использовались данные реанализа ECMWF Era5. На сегодняшний день это один из наиболее качественных реанализов находящихся в свободном доступе, который предоставляет данные с разрешением по горизонтали 0,25°x0,25° и 37 уровнях по вертикали на высотах от 0 до 60 км с периодичностью 1 ч. Для обучения алгоритма из имеющихся данных случайным образом были выбраны 500 тыс. пикселей измерений и соответствующих пикселей реанализа, а для тестирования 100 тыс. других случайных пикселей. Результаты восстановления на тестовой выборке представлены в таблице 5.5.1.

Таблица 5.5.1

Центр слоя, км	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5
СКО тестовой выборки, г/м³	5,29	3,9	2,93	1,85	1,12	0,56	0,2	0,036
СКО ошибки восстановления, г/м³	0,89	0,98	0,86	0,57	0,38	0,2	0,076	0,014

Представленные ошибки восстановления находятся на уровне мировых аналогов, что говорит об адекватной работе алгоритма и хорошем качестве данных нового прибора.

На основе полученного алгоритма восстановления была реализована программа визуализации произвольных вертикальных сечений атмосферы в трёхмерном поле влажности. Результаты работы такой программы представлены на рисунке 5.5.2.

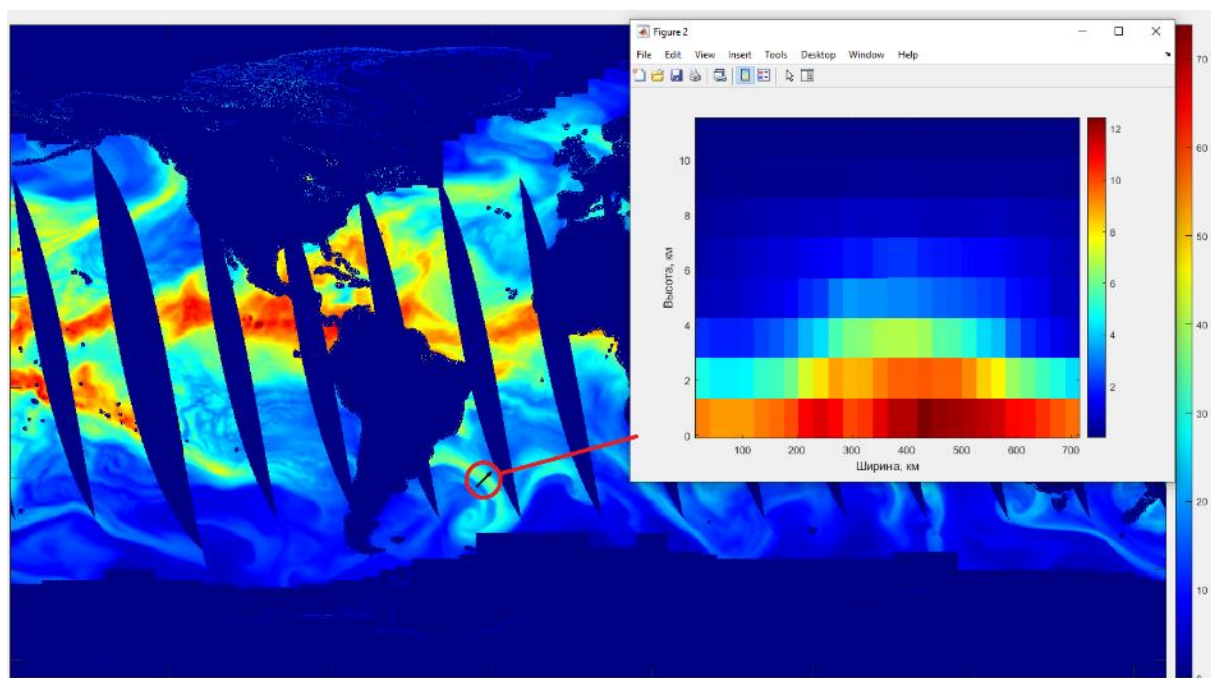


Рисунок 5.5.2 — Произвольные сечения вертикального профиля влажности атмосферы по данным МТВЗА-ГЯ «Метеор-М» № 2-2

На визуализированном двумерном поле интегральной влажности атмосферы пользователь мышью последовательно выделяет начало и конец сечения в горизонтальной плоскости, после чего в отдельное окно выводится соответствующий визуализированный вертикальный разрез трёхмерного поля влажности. Как пример, на рисунке 5.5.2 приведён разрез атмосферной реки, на котором видно особенности её вертикальной структуры. Полученные результаты могут быть использованы в будущем для исследований генезиса атмосферных катастроф, причины которого могут скрываться в особенностях вертикального профиля влажности атмосферы. Так же полученные результаты могут быть применены для более точного расчёта горизонтальных потоков скрытого тепла в атмосфере и попыток расчёта вертикальных потоков, которые в настоящее время практически не восстанавливаются.

Заключение

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

РАЗДЕЛ 6 МОНИТОРИНГ-ЭФФЕКТ

Введение

Настоящий раздел посвящён 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 2020 году в рамках настоящего раздела была запланирована работа по следующим основным направлениям:

- развитие методов ДЗЗ аппаратурой с пространственным спектральным расщеплением светового пучка на основе мультисенсорных данных космического комплекса «Метеор-М» № 3;
- разработка методики и проведение полётной радиометрической калибровки приборов КМСС-М и КМСС-2.

В настоящей главе отчёта представлены основные результаты выполненных в 2020 году работ. Подробно полученные результаты описаны в работах [58].

6.1 Развитие методов ДЗЗ аппаратурой с пространственный спектральным расщеплением светового пучка на основе мультисенсорных данных космического комплекса «Метеор-М» № 3

6.1.1 Исследование межгодового тренда чувствительности камер комплекса многозональной спутниковой съёмки КМСС-М на КА «Метеор-М»

Ежегодно по снежным полям Антарктиды проводится абсолютная радиометрическая калибровка камер, входящих в комплекс многозональной спутниковой съёмки (КМСС) на КА серии «Метеор-М». Проанализирован межгодовой тренд радиометрической чувствительности камер МСУ-201, МСУ-202 и МСУ-250, входящих в состав КМСС-М на КА «Метеор-М» № 2, по которым накоплены результаты радиометрической калибровки за наиболее длительный период: с 2015 по 2020 год.

Рисунок 6.1.1.1 иллюстрирует изменение чувствительности каналов всех камер КМСС-М, усреднённое по длине ПЗС-линейки, за 6 лет наблюдений. На фоне выбросов чувствительности, обусловленных вероятно ошибками калибровки в 2016 году, хорошо виден тренд на уменьшение чувствительности, который за данный период составил 5–27 % в зависимости от камеры и канала.

Стабильность отражательных характеристик калибровочного района Антарктиды и подтверждённая независимо стабильность кросс-калибровки КМСС-М и MODIS указывают на то, что обнаруженный тренд чувствительности является реальным эффектом. Можно отметить, что наибольшая деградация чувствительности происходила в смотрящем в надир канале 2 камер (спектральные зоны 0,63–0,68 мкм для камер МСУ-201 и МСУ-202 и 0,37–0,45 мкм для камеры МСУ-250), наименьшая — в смотрящем вперёд канале 1 камер МСУ-201 и МСУ-202 (0,755–0,87 мкм) и в смотрящем назад канале 3 камеры МСУ-250 (0,58–0,69 мкм). Таким образом, величина деградации чувствительности коррелирует не со спектральной зоной, а с углом наблюдения канала, который определяется положением его ПЗС-линейки относительно оптической оси камер. Возможным объяснением этого эффекта является контаминация (пожелтение) стёкол объектива под действием радиации, приводящая не только к изменению функции спектральной чувствительности каналов, но

и к уменьшению прозрачности объектива. В этом случае влияние уменьшения прозрачности должно быть сильнее как раз в смотрящих в надир каналах камер, в которых ПЗС-линейки расположены вблизи оптической оси, где толщина линз максимальна.

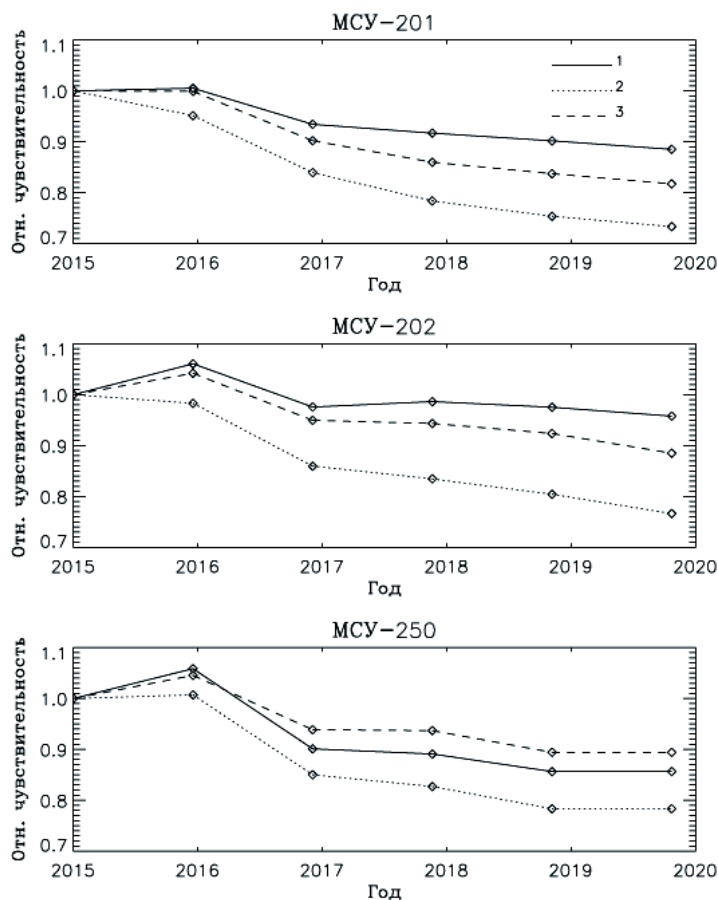


Рисунок 6.1.1.1 — Изменение среднеканальной относительной чувствительности камер КМСС-М по результатам калибровки в период 2015–2020 годы. Цифры у кривых — номер канала

Полученные результаты анализа межгодового тренда чувствительности камер КМСС-М подтверждают необходимость регулярной полётной абсолютной радиометрической калибровки космических съёмочных систем для поддержания радиометрического качества получаемых данных.

6.2. Разработка методики и проведение полётной радиометрической калибровки приборов КМСС-М и КМСС-2

Полётная радиометрическая калибровка проведена для камер МСУ, входящих в состав Комплексов многозональной спутниковой съёмки КМСС-М на КА «Метеор-М» № 2 и КМСС-2 на КА «Метеор-М» № 2-2, в период январь – февраль 2020 года.

Для контроля радиометрического качества целевой информации за отчётный период были использованы маршруты съёмки полигонных участков на территории Антарктиды со стабильными отражательными характеристиками, снятые в безоблачных условиях.

По результатам кросс-калибровки приборов КМСС-М/МСУ-100М (МСУ-201 и МСУ-202) со спектрорадиометром MODIS на КА Тетра уточнены файлы радиометрической коррекции приборов КМСС-М. Рассчитанные коэффициенты коррекции чувствительности элементарных детекторов ПЗС-линеек камер КМСС-М (рисунок 6.2.1) не превышают 5 % (по сравнению с результатами за 2019 г.), т.е. находятся в пределах ошибок калибровки, что

свидетельствует как о стабильности чувствительности КМСС-М, так и о стабильности отражательных характеристик Антарктиды. Для КМСС-М/МСУ-50М данных, полученных в безоблачных условиях, оказалось недостаточно для уточнения калибровочных файлов по всей длине ПЗС-линеек. Проверка чувствительности КМСС-М/МСУ-50М по отдельным однородным участкам снежного покрова Антарктиды также показала стабильность её чувствительности в пределах 5 %. По результатам калибровки сформированы актуальные файлы радиометрической калибровки камер КМСС-М.

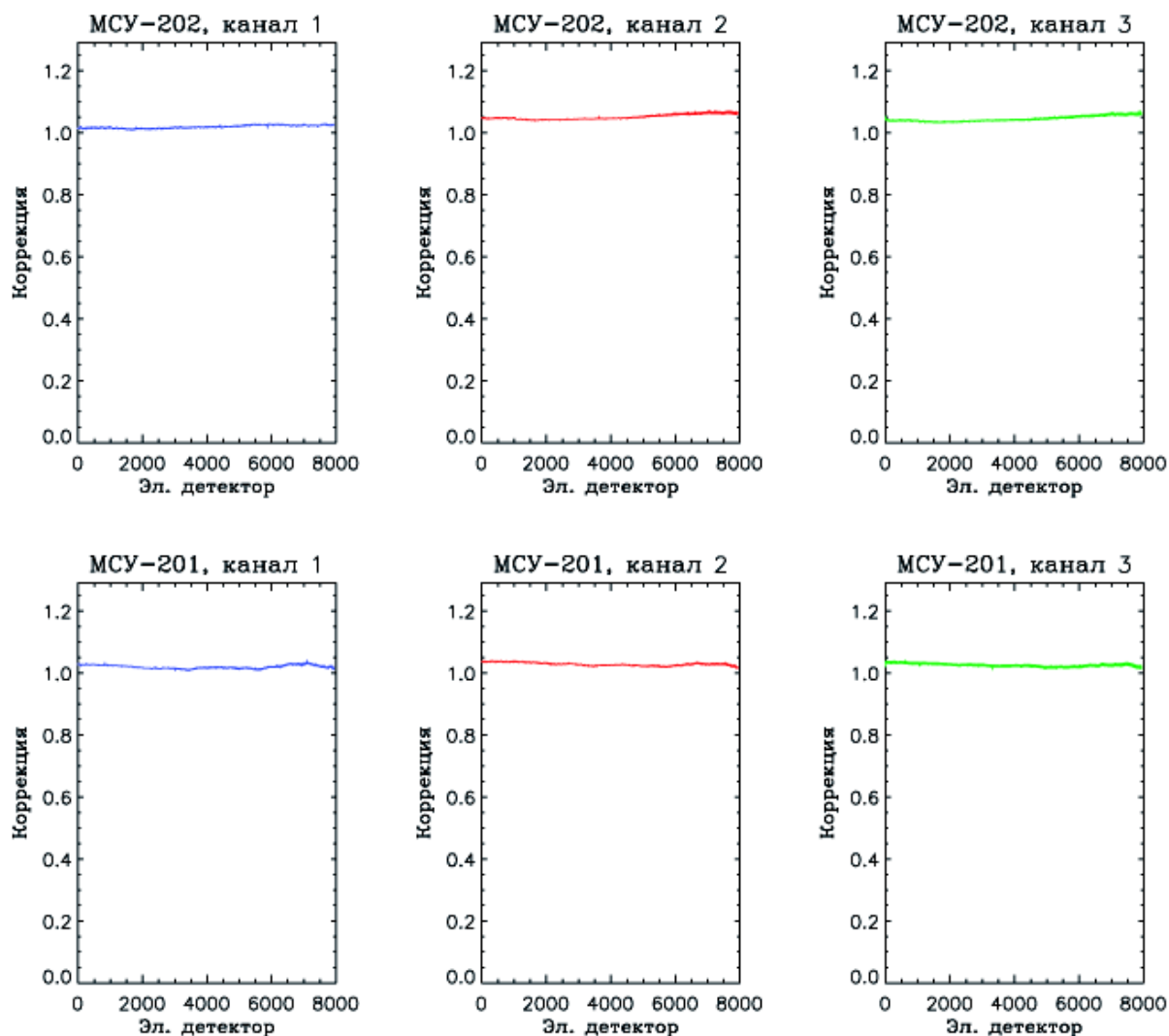


Рисунок 6.2.1 — Коррекция коэффициентов чувствительности камер МСУ-201 и МСУ-202

Рассчитаны коэффициенты коррекции чувствительности элементарных детекторов ПЗС-линеек камер КМСС-2 относительно полученных при наземной калибровке. В камерах КМСС-2/МСУ-100ТМ в каждом спектральном канале установлен модуль ЛПЗС, состоящий из трех ПЗС-линеек, в котором активной является только одна ПЗС-линейка в соответствии с заданной конфигурацией. На рисунках 6.2.2 и 6.2.3 представлены результаты коррекции коэффициентов чувствительности камер КМСС-2/МСУ-100ТМ (МСУ-221 и МСУ-222) в конфигурациях ПЗС-линеек (133) и (311). В большинстве случаев отклонение коэффициентов коррекции от 1 не превышает 5 %, т.е. находится в пределах ошибок калибровки, что свидетельствует о стабильности чувствительности камер КМСС-2. Исключение составляет ИК канал 2, где коэффициенты коррекции составляют 10–20 %.

Поскольку при использовании линеек 2 съёмки Антарктиды не проводились, чувствительность линеек 2 в ИК-канале, где отклонения чувствительности наиболее существенны, была скорректирована на средний коэффициент коррекции для линеек 1 и 3 в этом канале: 1,094 для МСУ-221 и на 1,209 для МСУ-222.

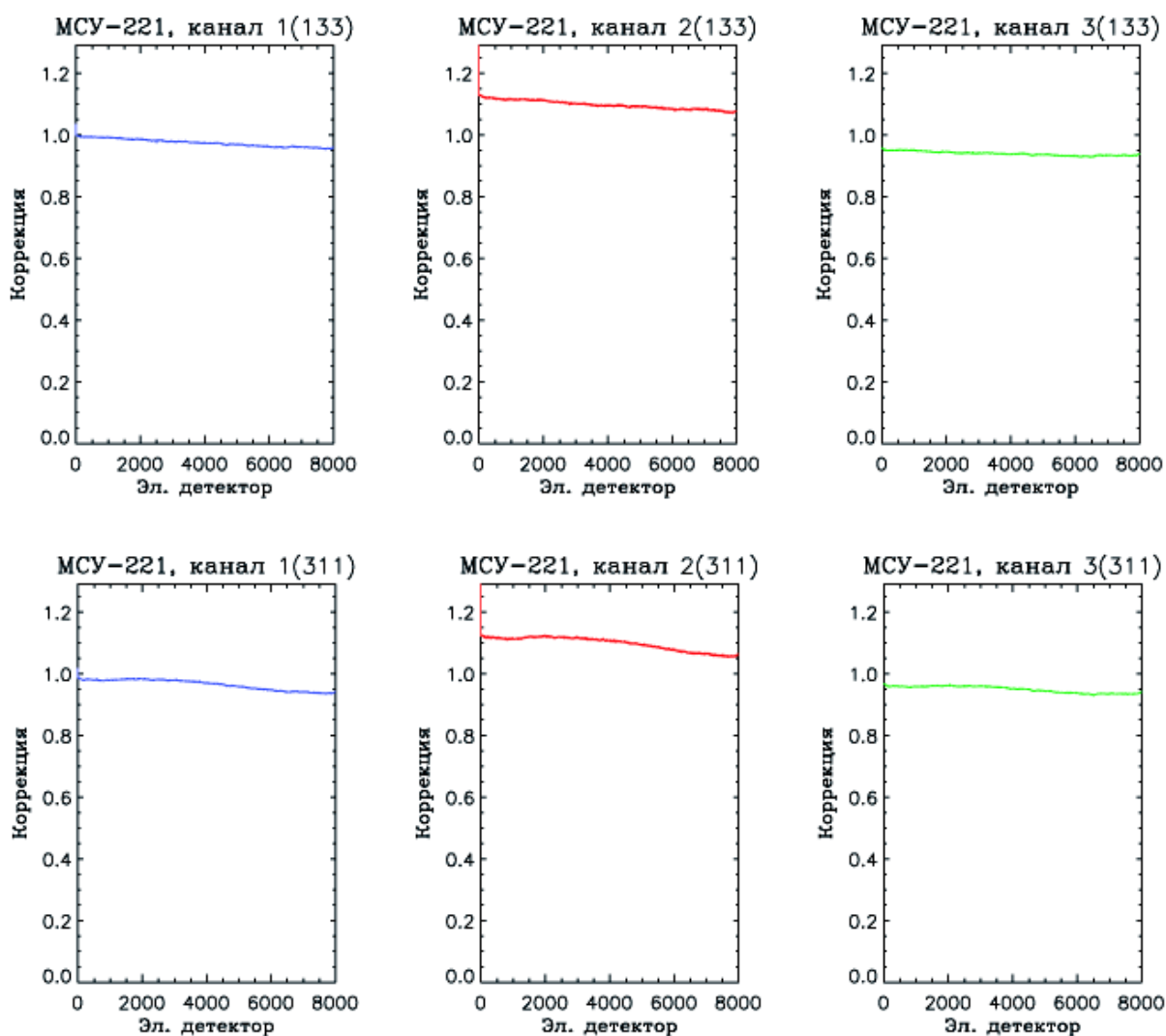


Рисунок 6.2.2 — Коррекция коэффициентов чувствительности камер МСУ-221. В скобках указаны конфигурации ПЗС-линеек

По результатам кросс-калибровки приборов КМСС-2/МСУ-100ТМ (МСУ-221 и МСУ-222) со спектрорадиометром MODIS на КА Aqua уточнены файлы радиометрической коррекции приборов КМСС-2.

Проведено сопоставление КСЯ природных объектов в спектральных каналах КМСС-М по данным КМСС-М и MODIS/Терра и в спектральных каналах КМСС-2 по данным КМСС-2 и MODIS/Aqua (рисунки 6.2.4, 6.2.5).

Отклонение коэффициента регрессии КСЯ от единицы, которое можно рассматривать как отклонение абсолютной радиометрической калибровки камер МСУ и MODIS, для приборов КМСС-М на КА «Метеор-М» №2 имеет значения 0,8-4,5% в зависимости от спектрального канала, СКО КСЯ по данным этих сенсоров не превышает 0,046. Для приборов КМСС-2 на КА «Метеор-М» №2-2 отклонение коэффициента регрессии КСЯ составило 0,5-2,6%, а СКО КСЯ не превышает 0,009. Разброс значений КСЯ около линии регрессии можно объяснить различием условий наблюдения объектов этими сенсорами.

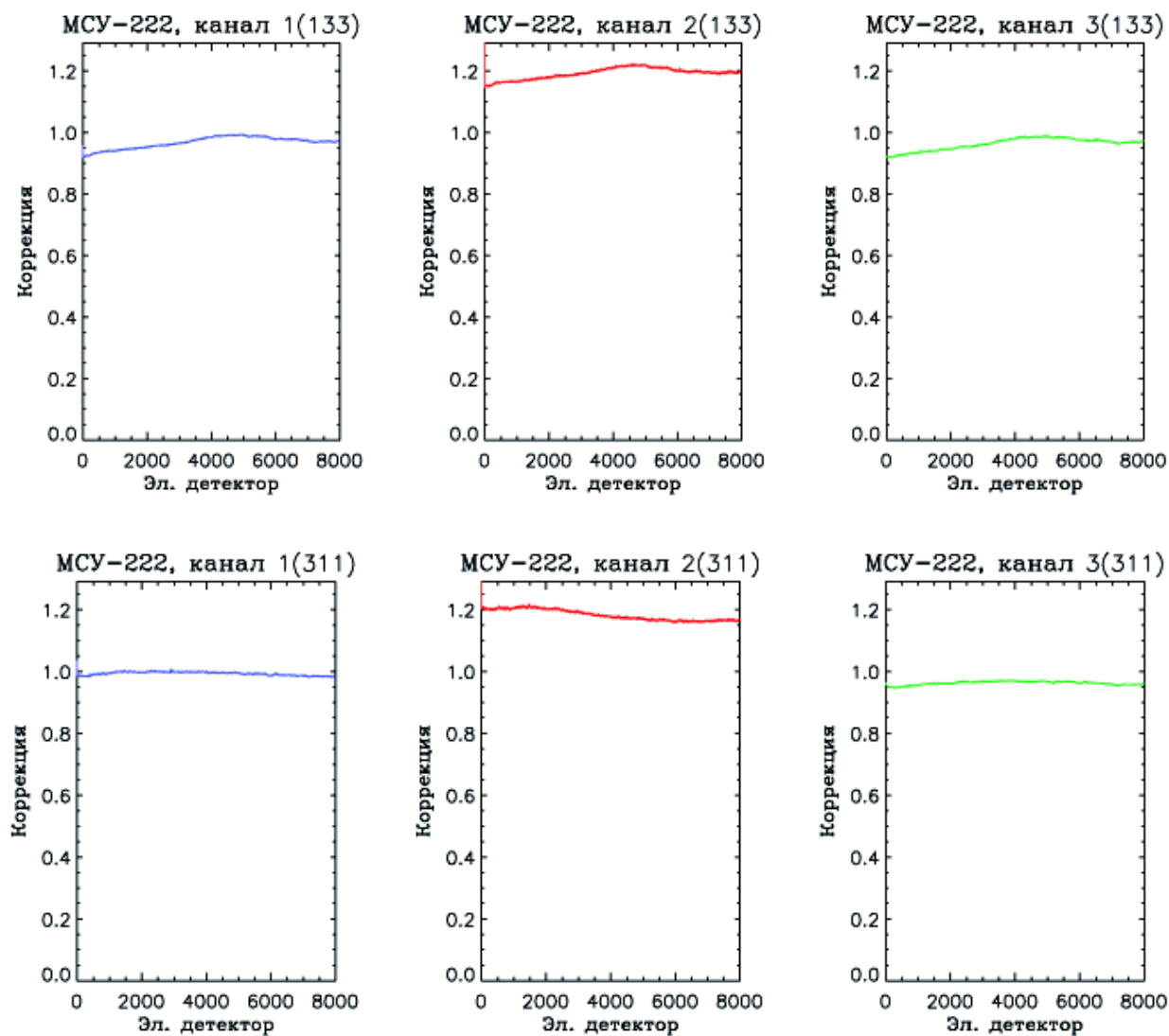


Рисунок 6.2.3 — Коррекция коэффициентов чувствительности камер MSU-222

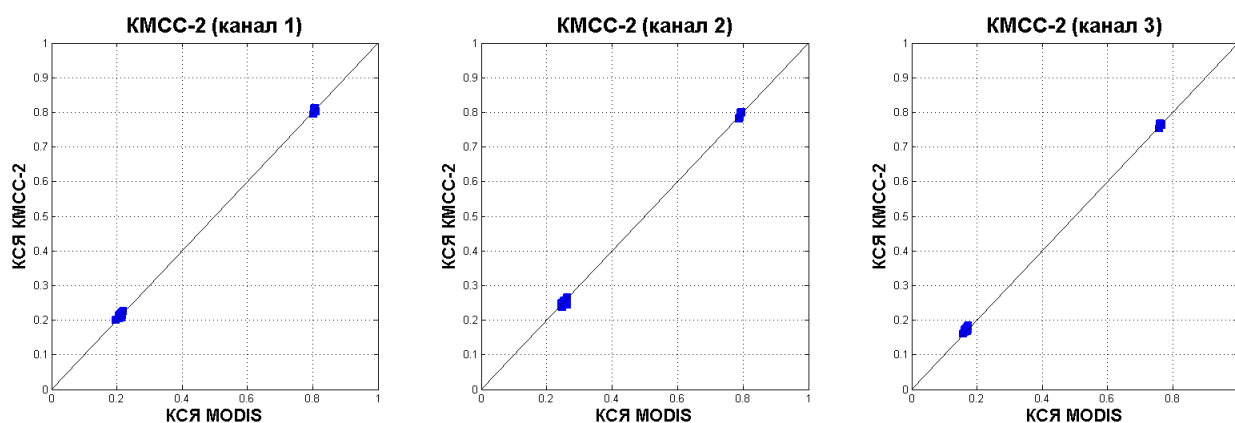


Рисунок 6.2.4 — Соотношение КСЯ природных объектов в спектральных каналах MSU-221 и MODIS/Aqua

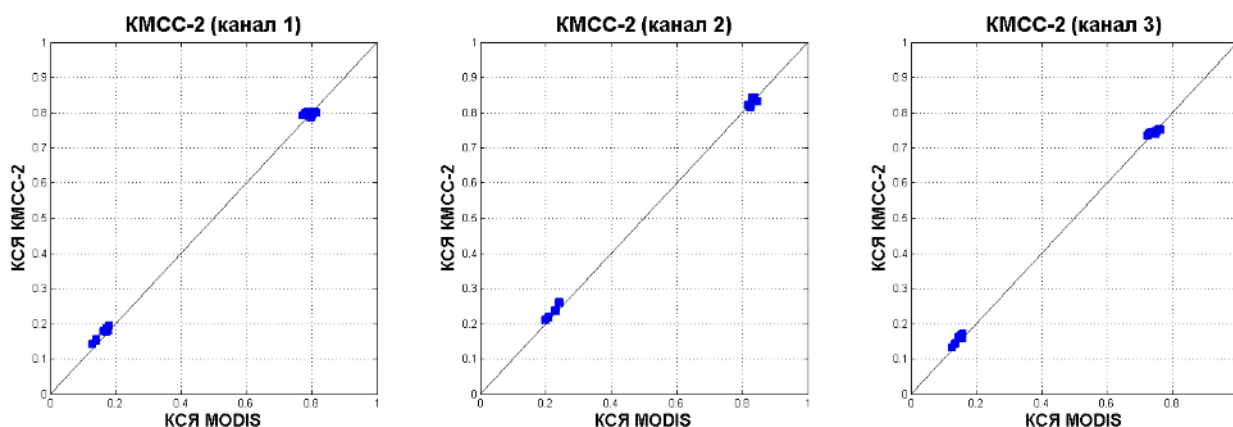


Рисунок 6.2.5 — Соотношение КСЯ природных объектов в спектральных каналах MSU-222 и MODIS/Aqua

6.3 Разработка методов построения высококачественных информационных продуктов на основе данных прибора КМСС

Комплекс многозональной спутниковой съёмки КМСС-М на борту КА «Метеор-М» № 2, выведенного на орбиту в 2014 г, является модификацией комплекса КМСС, успешно проработавшего на КА «Метеор-М» более 5 лет. В состав КМСС-М входят две камеры MSU-100М с разрешением 60 м и одна камера MSU-50М с разрешением 120 м. Данные КМСС-М (двух камер MSU-100М) являются востребованными для решения задач дистанционной оценки характеристик земной поверхности, оперативного мониторинга и оценки растительного покрова России и континента. До недавнего времени большая часть значительного потенциала этих достаточно уникальных данных не могла быть использована для количественной оценки характеристик земной поверхности ввиду ограничений совместимости со стандартными методами, используемыми для предварительной и тематической обработки данных имеющихся спутниковых систем для оптико-электронной съёмки, таких как Terra/Aqua(MODIS), Landsat (ETM+, OLI), Sentinel (MSI) и многих других. Отсутствие атмосферной коррекции и погрешности абсолютной радиометрической калибровки камер делали невозможным построение однородных временных рядов дистанционных индикаторов для объективного мониторинга состояния земного покрова.

Разработанные в ИКИ РАН в последнее время методы были направлены на устранение указанных особенностей, последовательно делая возможным автоматическое получение и практическое использование данных КМСС-М различных уровней обработки. В частности, в результате этих работ для всех получаемых по данным КМСС-М продуктов введена гранулярная система пространственной организации и распространения данных, реализованы и отработаны методы устранения аномалий географической привязки разнотональных изображений КМСС-М, устойчиво работающие в широком диапазоне условий. Разработаны и протестированы методы выявления мешающих факторов (облачности, теней и снега) на разнотональных изображениях КМСС-М. Для минимизации влияния атмосферы был адаптирован метод атмосферной коррекции на основе приведения гистограмм (Histogram Matching). Описанные выше подходы делают акцент на углублённое использование пространственной информации, а также актуализированного и географически привязанного спектрального эталона, полученного по данным среднего пространственного разрешения и обладающего максимальной наполненностью данных на произвольную дату съёмки прибором КМСС-М. В качестве такого эталона выступают восстановленные на основе LOESS ежедневные мультиспектральные изображения MODIS (Terra/Aqua), полученные анализом временной серии сеансов продукта MOD09.

Метод компенсации нелинейных искажений географической привязки изображений КМСС-М предусматривает поиск оптимального локального смещения небольших участков

изображения КМСС-М относительно эталона, сравниваемых в единой географической проекции на дату съёмки в одинаковом спектральном канале. Помимо обеспечения непосредственно географической привязки, в результате такого поиска формируется вспомогательное изображение, характеризующее наличие и интенсивность мешающих факторов для каждой локальной области пространства и используемое для создания масок облачности, теней и дальнейшего разновременного анализа полученных продуктов. Этап географической привязки обеспечивает возможность автоматического устранения локальных аномалий географической регистрации изображений, в том числе, существенных горизонтальных и вертикальных локальных смещений вплоть до 260 пикселей КМСС-М (более 15 км) в любую сторону от ожидаемого положения. В результате коррекции данных КМСС-М для территории площадью более чем 7 млн кв. км за 2020 год была собрана статистика по обнаруженным и устранённым смещениям на уровне блоков изображений отдельно для красного и ближнего ИК каналов комплекса.

Изображение максимума пространственной корреляции далее также используется для адаптивного выделения облачности. Тени выявляются в зоне геометрических теней от выявленной облачности с уточнением их фактического положения на основе сравнения яркостей пикселей из анализируемой области со спектральным эталоном.

Метод компенсации атмосферного влияния производит локализованный анализ и пересчёт свободных от мешающих факторов значений пикселей изображения до достижения максимального соответствия распределения пересчитанных значений с эталоном. В процессе анализа рассчитываются коэффициенты линейной регрессии между локальными наборами данных изображения КМСС-М и эталона внутри скользящего окна, которое позволяет адаптивным образом характеризовать состояние атмосферы. Этот метод компенсации атмосферного рассеяния обеспечивает возможность дальнейшего сравнения разновременных измерений КМСС-М. Остаточное влияние мешающих факторов устраняется на этапе восстановления безоблачных сезонных временных серий КСЯ с помощью разработанных в ИКИ РАН методов.

В результате работы построенной технологии в настоящее время происходит формирование коллекции скорректированных спутниковых данных КМСС-М, а также производных и вспомогательных продуктов, обеспечивающих возможность количественной оценки земной поверхности на больших территориях. Общая площадь зоны охвата в настоящий момент превышает 7 млн кв. км, и включает в себя территорию европейской части РФ и большую часть стран восточной Европы (рисунок 6.3.1).

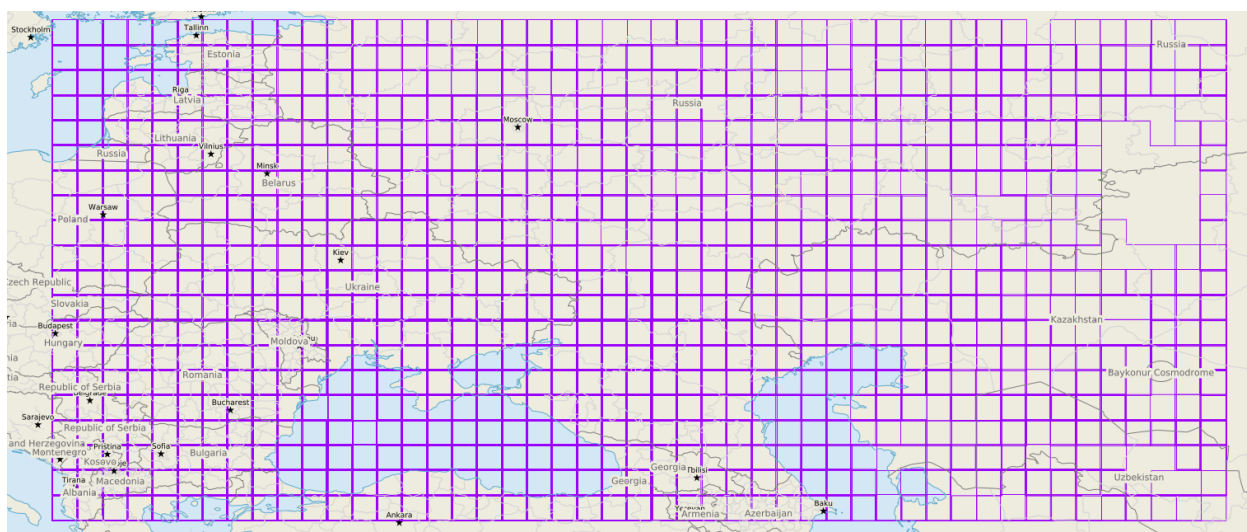


Рисунок 6.3.1 — Контуры градусных гранул новых продуктов КМСС-М, полученных с 1 марта по 15 августа 2020 года на территорию РФ и сопредельных стран в интерфейсе «Bera-Science» (sci-vega.ru)

Для оценки возможностей преобразованных спутниковых данных КМСС-М для мониторинга земного покрова на основе атмосферно-скорректированных и географически привязанных измерений КСЯ земной поверхности на часть гранул европейской России был сформирован продукт, иллюстрирующий результат восстановления сезонных временных серий ежедневных безоблачных изображений КСЯ. Это позволило получить изображения ежедневного безоблачного NDVI и оценить возможности комплекса по корректному описанию фенологической динамики объектов сельскохозяйственной растительности, характеризующихся быстрым изменением биомассы (рисунок 6.3.2).

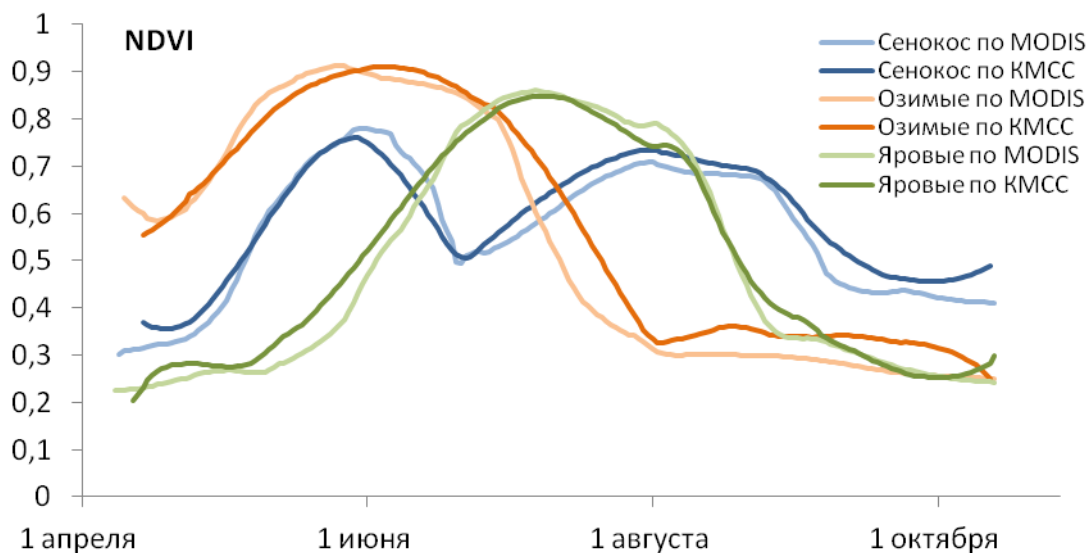


Рисунок 6.3.2 — Сезонные временные серии ежедневных восстановленных значений NDVI, полученных по данным атмосферно-скорректированных измерений прибором КМСС-М (яркие линии) и MODIS (бледные линии) на участки размером 250 м для различных типов сельскохозяйственной растительности

Заключение

Работы по теме Мониторинг-Эффект выполнялись в рамках утверждённого плана, основное внимание было уделено вопросам развития методов ДЗЗ аппаратурой с пространственным спектральным расщеплением светового пучка и отработке методик полётной радиометрической калибровки различных модификаций многозональной съёмочной аппаратуры КМСС.

Впервые проанализирован межгодовой тренд радиометрической чувствительности камер МСУ-201, МСУ-202 и МСУ-250, входящих в состав КМСС-М на КА «Метеор-М» № 2, по которым накоплены результаты радиометрической калибровки за шесть лет эксплуатации в натурных условиях. В результате анализа мультивременных данных обнаружен тренд уменьшения чувствительности в спектральных каналах, обусловленный естественным изменением физических свойств оптических систем приборов.

По результатам кросс-калибровки приборов КМСС-М и КМСС-2 со спектрорадиометром MODIS на КА Terra проведена валидация радиометрических свойств аппаратуры. Полученные результаты для камер КМСС-М и КМСС-2 не превышают 5% по сравнению с результатами за 2019 год, что свидетельствует об эффективности разработанных методик и стабильности отражательных характеристик Антарктиды.

Полученные результаты анализа подтверждают необходимость регулярной валидации и корректировки калибровочных данных космических съёмочных систем для поддержания радиометрического качества получаемых данных.

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 учёных. Для достижения этих целей были проведены работы по организации научных встреч, издательской и информационной деятельности, в том числе в сети Интернет.

В 2020 году в рамках работ по теме «Мониторинг-инфраструктура» были запланированы следующие работы и научно-образовательные мероприятия:

- проведение ежегодной Всероссийской открытой конференции с международным участием «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»;
- проведение научных семинаров и школ-конференций по фундаментальным проблемам ДЗЗ из космоса;
- выпуск журнала «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»;
- подготовка и повышение квалификации кадров на базе НОЦ 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 учёных, 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 2020 г. Информация о полученных в данном направлении результатах также представлена в работе [30].

7.1. Ежегодное проведение научной конференций «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»

16–20 ноября 2020 года в Институте космических исследований Российской академии наук была проведена Восемнадцатая Всероссийская открытая конференция с международным участием «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». В связи с эпидемиологической обстановкой конференция проводилась в смешанном очно-онлайн формате.

Все заседания транслировались через ZOOM, одновременно проходило 5 заседаний секций. Видео всех заседаний выложено в youtube, с ними можно ознакомиться на сайте <https://www.youtube.com/playlist?list=PL8RPBtcOOJAweoUmEDEmaTKYYuCXI29Nn>.

На момент окончания конференции было зарегистрировано более 1000 просмотров. Работа конференции осуществлялась в рамках следующих секций:

- пленарные заседания, одно из которых было посвящено развитию информационных сервисов для решения задач прикладного и научного мониторинга различных объектов и явлений на основе систем и методов ДЗЗ;

- 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.

В рамках пленарного заседания была проведена дискуссия на тему «Создание и внедрение информационных сервисов ДЗЗ (возможности и востребованность)»

Всего на Конференции было представлено 443 доклада, из них 247 устных и 196 стендовых. Была организована возможность общения с докладчиками стендовых докладов в формате «Вопрос – ответ».

Для участия в конференции зарегистрировалось более 860 человек, из 17 стран, 90 городов и из 250 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».

Детальная информация о прошедшей конференции, в том числе электронный сборник материалов конференции и on-line трансляция доступны на сайте конференции по адресу: <http://conf.rse.geosmis.ru/>. Сборник материалов Конференции публикуется также на сайте Электронной российской библиотеки elibrary и индексируется в системе РИНЦ.

7.2 Проведение научных семинаров и школ-конференций по фундаментальным проблемам ДЗЗ из космоса

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

В рамках Восемнадцатой Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» 16–20 ноября 2020 года в ИКИ РАН проходила Шестнадцатая Всероссийская научная школа-конференция по фундаментальным проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса. Во время проведения Школы-конференции было прочитано 12 лекций ведущими российскими, британскими учёными, а также учёными из США и Австралии.

В рамках проведения Школы-конференции был организован круглый стол на тему «Дистанционное зондирование растительного покрова высокоширотных регионов в контексте изменения климата и других воздействий».

Был проведён мастер-класс на тему «Региональный сельскохозяйственный мониторинг с использованием спутникового сервиса Вега».

Лекции и мастер-класс транслировались в онлайн режиме.

Молодые учёные представили 59 устных и 35 стендовых докладов.

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

16–20 марта 2020 года в Тарусе на базе представительства Интеркосмос ИКИ РАН провёл Одиннадцатую международную Школу-семинар: «Спутниковые методы и системы исследования Земли». Было прочитано 5 лекций по различным направлениям дистанционного исследования океана и проблемам климата и проведено 3 мастер-класса по

работе с данными и информационными системами ДЗЗ. В работе Школы-семинара принимали участие молодые учёные из Москвы, Севастополя, Нижнего Новгорода и из Казахстана. Молодые учёные представили 7 устных докладов. Для молодых учёных 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/tarusa2020.html.

7.3 Выпуск журнала «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса»

В 2020 году было выпущено 6 номеров очередного Семнадцатого тома научного журнала «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», в декабре 2020 года планируется выпуск очередного, седьмого номера журнала. Шестой специализированный номер журнал составлен из статей на английском языке, отобранных на конкурсной основе по докладам, представленным на Семнадцатой Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Всего планируется опубликовать около 175 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.

7.4 Подготовка и повышение квалификации кадров на базе Научно-образовательного центра ИКИ РАН. В том числе:

7.4.1 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»

Работа со школьниками в ИКИ РАН ведётся по нескольким направлениям: 1) проведение «Дней открытых дверей», на которых школьники могут ознакомиться с деятельностью ИКИ РАН, узнать о сотрудничестве с вузами; 2) работа выставочного зала ИКИ РАН, в котором представлены как направления деятельности Института, так и макеты космических аппаратов; 3) чтение научно-популярных лекций, освещающих основные задачи космической физики; 4) проведение консультаций, рецензирования и руководство научными работами школьников.

В рамках программы «Академический класс в московской школе» были проведены семинары для учителей в том числе по работе с данными ДЗЗ.

В 2020 году в ИКИ РАН «Дни открытых дверей» для школьников не проводились в связи с карантинными мероприятиями. Был создан сайт с виртуальной экскурсией по Выставочному залу.

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

В 2020 году были проведены следующие мероприятия:

- Конференция молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования», посвящённая Дню космонавтики. В конференции принимали участие молодые учёные и аспиранты ИКИ РАН, базовых кафедр МФТИ, а также МГУ имени М.В. Ломоносова, МГПУ им. Ленина, ГЕОХИ, МИФИ. Участвовали представители ГАИШ, ЛГУ, МАИ. Были представители из стран СНГ. По результатам конференции издаются Труды конференции. В связи со спецификой

2020 года в апреле конференция прошла в дистанционном режиме, а в сентябре в «гибридном», т.е. офлайн и онлайн.

- Ежегодная студенческая научная конференция МФТИ.

7.4.2 Проведение конкурсов работ молодых учёных, работающих в области дистанционного мониторинга Земли, природных и антропогенных

В рамках Шестнадцатой Всероссийской научной школы-конференции по фундаментальным проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса был проведён конкурс работ молодых учёных. Всего в конкурсе устных и стендовых докладов приняло участие 94 работы молодых учёных. По результатам конкурса было присуждено 1 первая, 3 вторых и 6 третьих премии, а также 6 поощрительные грамоты.

В рамках конкурса научных работ ИКИ РАН, проведённого в 2020 году, в номинации «Лучшая работа, выполненная молодыми учёными» было присуждено 9 премий, одна из которых была присуждена по направлению темы «Мониторинг».

7.4.3 Научно-методическое обеспечение работ базовых кафедр ИКИ РАН и образовательных курсов, проводимых специалистами ИКИ РАН, по направлению «Дистанционного зондирования и исследования Земли из космоса»

Продолжается работа кафедры в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова (МГУ) на Факультете космических исследований (<http://cosmos.msu.ru/>). В сентябре 2017 года на факультете началось обучение по программам магистратуры, в 2018 году прошёл первый приём на специалитет, в 2020 — четвёртый 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 в 2020 году обучалось 18 магистрантов.

Задачи программы «Методы и технологии дистанционного зондирования Земли» формировались с учётом 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 явлениях.

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 объёмами информации; созданию распределённых систем дистанционного мониторинга различных природных и антропогенных процессов и объектов. В рамках обучения студенты 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 2020 году специалистами ИКИ РАН были прочитаны следующие курсы лекций:

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

В 2020 году состоялся второй выпуск магистрантов кафедры Методы и технологии дистанционного зондирования Земли факультета космических исследований МГУ имени

М.В. Ломоносова. 6 сотрудников ИКИ РАН были руководителями магистратских диссертаций. Все они были защищены на «отлично».

В 2017–2020 годах в рамках учебного плана в Университетской гимназии (школе-интернате) МГУ имени М.В. Ломоносова сотрудники ИКИ РН приняли участие в реализации Школьного Междисциплинарного проекта «Возможности спутниковых систем ДЗЗ». В том числе, они осуществляли 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-Инфраструктура» выполнены в полном объёме.

РАЗДЕЛ 8 ВАЖНЕЙШИЕ ЗАКОНЧЕННЫЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ И ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИЕ РАБОТЫ, ВЫПОЛНЕННЫЕ В 2020 году И ГОТОВЫЕ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

8.1. Решение задачи ежегодного мониторинга объёма древесной биомассы лесов России на основе данных дистанционного зондирования из космоса

Институтом космических исследований РАН и Центром по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН разработаны новые научные подходы, а также уникальный комплекс методов и технологий, позволяющие на основе спутниковых данных дистанционного зондирования Земли осуществлять ежегодный мониторинг объёма древесной биомассы в лесах России. Исследования выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда на проведение исследований на базе Лабораторий мирового уровня (проект «Космическая научная обсерватория мониторинга углерода лесов России», руководитель — д-р техн. наук, проф. Барталев С.А.).

Технологической основой для разработки стал центр Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг». В проекте использовалась предоставляемая им инфраструктура работы с данными. В рамках центра также проводились работы по расширению возможностей распределённой работы с данными, получаемыми в рамках проекта. Для этого, в частности, развивалась специализированная система «Вега-Лес» (<http://forest.geosmis.ru/>), ориентированная на изучение и научный мониторинг лесов России.

Применение комплекса разработанных методов, технологий и инфраструктуры работы с данными, предоставляемыми ЦКП «ИКИ-Мониторинг», впервые позволило получить временной ряд ежегодных оценок объёма древесной биомассы лесов России за период с 2005 по 2017 годы с пространственным разрешением 230 м (рисунок 8.1.1). Сформированный уникальный набор данных позволил выявить (рисунок 8.2.2) наличие выраженного тренда нарастания объёмов древесной биомассы лесов страны, включая живые деревья и сухостой в насаждениях, в диапазоне значений от $112,1 \cdot 10^9$ куб. м до $117,1 \cdot 10^9$ куб. м, при среднегодовом приросте объёма около $314,5 \cdot 10^6$ куб. м в год.



Рисунок 8.1.1 — Карта объёма древесной биомассы в лесах России в 2017 году



Рисунок 8.2.2 — Динамика объёма древесной биомассы в лесах России

Полученные результаты не имеют аналогов и открывают возможность решения важнейшей государственной задачи объективной ежегодной оценки поглощаемого лесами России атмосферного углерода, не обеспечиваемую ни одним из других существующих в настоящее время методов. С принятием Парижского соглашения по климату острота проблемы объективности, полноты и точности учёта углеродного бюджета лесов приобретает чрезвычайную важность. Объём древесной биомассы и породный состав лесов относятся к числу важнейших их характеристик, непосредственно определяющих

содержание в них углерода. Данные о динамике объёма древесной биомассы лесов позволяют оценивать количество поглощаемого ими из атмосферы углекислого газа.

Имевшиеся до настоящего времени оценки углеродного бюджета лесов России отличаются крайне высокой степенью неопределённости, источником которой является, прежде всего, недостаток достоверной и актуальной информации о лесах. Разработанные методы и полученные на их основе результаты позволяют кардинально снизить уровень этой неопределённости.

8.2. Создание и апробация технологии контроля данных сельскохозяйственной микропереписи об использовании сельскохозяйственных угодий на основе средств спутникового мониторинга

В 2020 году ИКИ РАН и ООО «ИКИЗ» совместно с партнёрами по заказу Росстата РФ создали и провели апробацию технологии контроля данных сельскохозяйственной микропереписи об использовании с/х угодий на основе средств спутникового мониторинга (далее Технология).

Технология позволяет в максимально автоматизированном режиме проводить анализ спутниковых данных по территории сельскохозяйственных регионов страны, получать информацию о площадях, занятых различными типами с.-х. угодий, и проводить её сравнение с результатами с.-х. переписей и текущей статистикой для повышения достоверности получаемой информации. Проведённая в 2020 году апробация технологии показала её работоспособность и готовность для использования при проведении сельскохозяйственной микропереписи 2021 года. Расположение районов апробации на европейской территории страны и пример получаемой с использованием технологии информации о сельскохозяйственных землях приведены на рисунке 8.2.1.

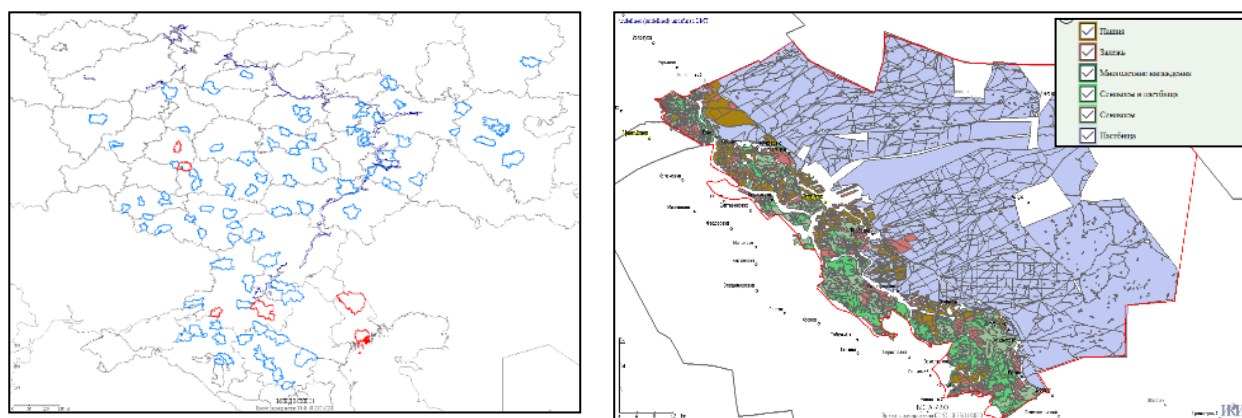


Рисунок 8.2.1 — Расположение районов апробации технологии на европейской территории России (слева) и восстановленные на основе спутниковых данных типы с.-х. угодий в Харабалинском районе Астраханской области (справа)

Также была создана техническая инфраструктура для использования технологии, ориентированная на возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (<http://ckp.geosmis.ru/>).

При создании Технологии использованы решения по организации распределённой работы со сверхбольшими архивами спутниковых данных, которые были разработаны в 2019–2020 годах в рамках темы «Космос-Д» (госрегистрация № 0024-2019-0014) и методов обработки и анализа спутниковых данных, позволяющих оценивать различные характеристики с.-х. земель, которые развивались в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 01.20.0.2.00164) в 2017–2020 годах.

В настоящее время технология готова к использованию в 2021–2022 годах при проведении и подведении итогов с.-х. микропереписи 2021 года. В дальнейшем она может

быть доработана и использована для контроля статистической отчётности о состоянии и использовании с/х земель.

РАЗДЕЛ 9 ГРАНТЫ ПО НАПРАВЛЕНИЮ МОНИТОРИНГ

Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ)

18-29-24121 Разработка методов и основ дистанционного компьютеризированного мониторинга изменений окружающей среды в местах расположения источников техногенных отходов и отвалов	Лупян Е.А. д-р техн. наук	2018–2020
20-05-22028 Проект организации Семнадцатой Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса,	Лупян Е.А. д-р техн. наук	2020–2020
19-37-90114 Разработка подходов и методов дистанционного мониторинга водных ресурсов в регионах Средней Азии на примере контроля состояния рек бассейна Амударьи	Лупян Е.А. д-р техн. наук	2019–2021
19-35-60007 Пространственно-временные закономерности динамики состояния аридных пастбищных ландшафтов на основе анализа спектрально-отражательных свойств	Шинкаренко С.С. канд. с.-х. наук	2019–2022
19-45-343001 Пространственно-временные особенности теплового поля урбанизированных территорий засушливой зоны по данным спутниковой съемки	Кошелева О.Ю.	201922021
18-55-45023 Разработка методов спутникового мониторинга сезонного развития посевов сахарного тростника в Южной Индии в целях контроля их водообеспечения и азотного питания	Барталев С.А. д-р техн. наук	2018-2020
18-45-520004 p_a Исследование процессов смешения турбулентных потоков в приложении к анализу переноса загрязнений в областях слияния рек Волжского бассейна и развитию дистанционных методов его экологического мониторинга	Ермаков С.А. д-р физ.-мат. наук	2018–2020
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	Боярский Д.А. канд. физ.-мат. наук	2018–2020
18-05-00440-а Неопределенность оценок климатических трендов водного эквивалента снега по спутниковым данным: роль стратиграфии снежного покрова	Китаев Л.М. канд. геогр. наук	2018–2020
18-02-01009 Исследование перспективных радиотепловых методов измерения профилей водного пара и других параметров атмосферы с орта космического аппарата	Шарков Е.А. д-р физ.-мат. наук	2018–2020

20-05-00198-а Спутниковая микроволновая радиометрия эстуариев русской Арктики — анализ гидрологического режима в период ледостава	Тихонов В.В. канд. физ.-мат. наук	2020–2022
20-07-00200-а Развитие методов радиоинтерферометрии в задачах СВЧ радиометрического дистанционного зондирования Земли	Смирнов М.Т. канд. физ.-мат. наук	2020–2022
20-02-00181 Измерение пристеночных пульсаций давления в условиях воздействия вибраций, акустического шума и флуктуаций температуры	Кудашев Е.Б. д-р техн. наук	2020–2022

Российский научный фонд (РНФ)

019-77-30015 Разработка методов и технологии комплексного использования данных дистанционного зондирования Земли из космоса для развития системы национального мониторинга бюджета углерода лесов России в условиях глобальных изменений климата	Барталев С.А. д-р техн. наук	2019–2022
19-71-20035 Информационно –вычислительная система вариационной ассимиляции данных наблюдений «ИВМ РАН –Черное море» и её интеграция с программно-аппаратным комплексом ЦКП «ИКИ-Мониторинг»	Агошков В.И. д-р физ.-мат. наук	2019–2022
19-75-20088 Создание опирающейся на данные дистанционного зондирования Земли методологии анализа и прогнозирования влияния климатических и экологических факторов на заболеваемость природно-очаговыми инфекциями	Малеев В.В. д-р мед. наук	2019–2022
19-74-20185 Научные основы учета, оценки экологического состояния, климатогенной роли и пожарной опасности антропогенно измененных торфяных болот на основе спутниковых и наземных данных	Сирин А.А. д-р биол. наук	2019–2022
19-77-20060 Оценка изменчивости экологического состояния Каспийского моря в текущем столетии по данным спутникового дистанционного зондирования	Лаврова О.Ю. канд. физ.-мат. наук	2019–2022
18-17-00224 Радиолокационное зондирование пленок на поверхности океана и внутренних водоемов	Ермаков С.А. д-р физ.-мат. наук	2018–2020

Минобрнауки России

0024-2019-0014 Большие данные в космических исследованиях: астрофизика, солнечная система, геосфера	Прошин А.А. канд. техн. наук	2019–2021
---	------------------------------------	-----------

5.577.21.0294 Разработка технологий автоматизированной обработки спутниковых данных дистанционного зондирования Земли для создания и поддержки информационных сервисов мониторинга лесных ресурсов и охотничьих угодий России	Егоров В.А. канд. техн. наук	2018–2020
--	------------------------------------	-----------

Программы фундаментальных исследований

Программы Президиума РАН		
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	Мохов И.В. академик	2018–2020
МК-321.2019.5 грант Президента РФ для поддержки молодых ученых – кандидатов наук	Шинкаренко С.С. канд. с.-х. наук	2019–2020

Зарубежные программы и совместные с зарубежными

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)	Тутубалина О.В. канд. геогр. наук	2018–2020
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)	Гитас Я. д-р наук	2018–2020

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение отметим, что по результатам работ по направлению темы «Мониторинг» сотрудниками ИКИ РАН опубликовано — 123 работы, из них:

- в зарубежных изданиях — 18
- главы в книгах — 3
- книг — 1
- статьи в отечественных научных рецензируемых журналах — 29
- статьи в сборниках материалов конференций — 3
- материалы конференций — 51
- тезисы, доклады — 18

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 80 научных и образовательных организациях.

Отметим также, что результаты, полученные в рамках направлений работ темы мониторинг, уже сегодня используются для поддержки и развития более 20 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 («Вега-Лес») (<http://forest.geosmis.ru/>).
 - Информационной системы дистанционного мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил (VolSatView), использующейся как для изучения вулканов, так и для обеспечения полётов 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/>).
 - Объединённой системы работы с данными центров приема НИЦ «Планета» Росгидромета, которая обеспечивает возможность работы со спутниковой информацией и результатами её обработки для решения различных задач гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды. (<http://moscow.planeta.geosmis.ru/>).
 - Информационной технологии контроля данных сельскохозяйственной микропереписи 2021 года об использовании сельскохозяйственных угодий (<http://agrocensus21.geosmis.ru/>).
- и др.

В заключение отметим, что работы по теме «Мониторинг» проводились в соответствии с утверждённым планом и полностью выполнены. Установленные показатели по публикации достигнуты.

ПУБЛИКАЦИИ

Опубликовано — 151 работ, из них:

- в зарубежных изданиях — 22
- главы в книгах — 3
- книг — 1
- статьи в отечественных научных рецензируемых журналах — 32
- статьи в сборниках материалов конференций — 3
- материалы конференций — 64
- тезисы, доклады — 21
- патенты — 5
- в соавторстве с зарубежными авторами — 4
- статьи в WOS и Scopus — 40
- статьи в WOS и Scopus (Q1, Q2) — 2
- статьи в WOS и Scopus (Q3, Q4) — 30 (из них в печати — 8)
- статьи ниже Q4 с DOI — 20
- статьи ниже Q4 без DOI — 0
- публикаций по грантам РНФ — 27

Публикации в зарубежных изданиях

1. *Kashnitskiy A.V., Balashov I.V., Bartalev S.A., Egorov V.A., Kobets D.A., Zharko V.O., Loupian E.A.* Regional monitoring of forests using the Vega-Les system: case study for Tungussko-Chunskoye forest management unit and Tunguska reserve in the Russian Krasnoyarsk region // E3S Web of Conferences. Regional Problems of Earth Remote Sensing (RPERS 2020), 2020. 223. P. 01003. DOI: doi.org/10.1051/e3sconf/202022301003. **(Scopus, РИНЦ) «Мониторинг»**
2. *Mukhamedzhanov I.D., Konstantinova A.M., Loupian E.A.* The use of satellite data for monitoring rivers in the Amu Darya basin // E3S Web of Conferences. Regional Problems of Earth Remote Sensing (RPERS 2020), 2020. 223. P. 03008. DOI: doi.org/10.1051/e3sconf/202022303008. **(Scopus, РИНЦ) РФФИ**
3. *Bourtsev M.A., Kashnitskiy A.V., Loupian E.A., Mazurov A.A., Pustynskiy I.S., Kholodov E.I.* Histogram comparison crosscalibration method applied for evaluating the quality of “Canopus-v-ir” data // E3S Web of Conferences. Regional Problems of Earth Remote Sensing (RPERS 2019), 2020. 149. 01001. DOI: doi.org/10.1051/e3sconf/202014901001. **(Scopus, РИНЦ) «Мониторинг»**
4. *Loupian E.A., Savorsky V.P., Kashnitskiy A.V., Kobets D.A., Senko K.S., Balashov I.V., Uvarov I.A.* Development of the unit for testing the methods of remote computerized monitoring of environmental changes in the “IKI-Monitoring” center for collective use // E3S Web of Conferences. Regional Problems of Earth Remote Sensing (RPERS 2019), 2020. 149. 01002. DOI: doi.org/10.1051/e3sconf/202014901002. **(Scopus, РИНЦ) РФФИ**
5. *Uvarov I.A., Marchenkov V.V., Tolpin V.A.* Meteorological data analysis capabilities in the “VEGA constellation” information systems family // E3S Web of Conferences. Regional Problems of Earth Remote Sensing (RPERS 2019), 2020. 149. 01003. DOI: doi.org/10.1051/e3sconf/202014901003. **(Scopus, РИНЦ) «Мониторинг»**
6. *Denisov P.V., Kashnitskiy A.V., Loupian E.A., Sereda I.I., Tolpin V.A., Troshko K.A.* Assessment of arable lands use in the VEGA satellite monitoring services on the example of Primorsky Krai // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2020. V. 547. P. 012005. DOI: 10.1088/1755-1315/547/1/012005. **(Scopus, РИНЦ) «Мониторинг»**

7. Savorsky V.P., Loupian E.A., Panova O.Yu., Konstantinova A.M., Ermakov D.M., Balashov I.V. VEGA-Science services for monitoring the impact technogenic waste and dumps sources on environment // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2020. V. V-3-2020. P. 323–329. DOI: doi.org/10.5194/isprs-annals-V-3-2020-323-2020. **(Web of Sciences, Scopus) РФФИ**
8. Li X., Huang H., Shabanov N.V., Chen L., Yan K., Shi J. Extending the stochastic radiative transfer theory to simulate BRDF over forests with heterogeneous distribution of damaged foliage inside of tree crowns // Remote Sensing of Environment. 2020. V. 250. DOI: doi.org/10.1016/j.rse.2020.112040. **(Web of Sciences Q1, Scopus) «Мониторинг»**
9. Mukhamedzhanov I.D., Konstantinova A.M., Uvarov I.A. Capabilities of the «IKI-Monitoring» center for collective use in organizing the satellite monitoring of the Central Asian Region // InterKarto. InterGIS. 2020. V. 26. No. 2. С. 376–383. DOI: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-376-383. **(РИНЦ) РФФИ**
10. Mityagina M.I., Lavrova O.Yu. Oil pollution hotspots on the Caspian Sea surface identified using satellite remote sensing // Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions: Proc. SPIE. V. 11529 / eds. C.R. Bostater, X. Neyt, F. Viallefont-Robinet. 2020. 115290L. doi: 10.1117/12.2573501. **«Мониторинг»**
11. Sterlyadkin V.V. Some Aspects of the Scattering of Light and Microwaves on Non-Spherical Raindrops // Atmosphere. 2020. V. 11. Iss. 5. Art. No. 531. 19 p. <https://doi.org/10.3390/atmos11050531>. **(Web of Sciences Q3, Scopus). «Мониторинг»**
12. Lavrova O.Yu., Soloviev D.M., Storchkov A.Ya., Nazirova K.R., Krayushkin E.V., Zhuk E.V. The Use of Mini-Drifters in Coastal Current Measurements Conducted Concurrently with Satellite Imaging // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2020. V. 56. No. 9. P. 1022–1033. DOI: 10.1134/S0001433820090157. **(Web of Science, Scopus Q3, РИНЦ). «Мониторинг»**
13. Kuzmin A.V., Kozlova T.O., Pashinov E.V., Sadovsky I.N., Sazonov D.S., Sharkov E.A., Selunsky A.B., Sterdyadkin V.V. Microwave radiometer-spectrometer MIRS in the space experiment “Convergence” // MICRORAD’2020: Proc. In press. **РФФИ «Мониторинг»**
14. Pashinov E.V., Sterdyadkin V.V. Spaceborne experiment “Convergence”: the vertical profile of atmospheric humidity retrieving by passive microwave method // MICRORAD’2020: Proc. In press. **РФФИ «Мониторинг»**
15. Sazonov D.S., Kuzmin A.V., Sadovsky I.N. Studying the azimuthal dependence of the sea surface microwave emissions based on measurements at the Black Sea // MICRORAD’2020: Proc. In press. **РФФИ «Мониторинг»**
16. Sterdyadkin V.V., Kuzmin A.V. Field radiometry measurements of the effective emissivity and complex dielectric constant of the sea surface. // MICRORAD’2020: Proc. In press. **РФФИ «Мониторинг»**
17. Tikhonov V.V., Khvostov I.V., Romanov A.N., Sharkov E.A., Boyarskii D.A., Komarova N.Yu., Sinitskiy A.I. L-Band Radiative Features of the Ob Bay in the Freeze-Up Period // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2020. V. 56. No. 9. P. 936–949. DOI: 10.1134/S0001433820090236. **(Web of Sciences Q3, Scopus) «Мониторинг»**
18. Izhovkina N.I., Artekha S.N., Erokhin N.S., Mikhailovskaya L.A. Electrostatic Disturbances of Aerosol Atmospheric Plasma: Beaded Lightning // Pure and Applied Geophysics. 2020. V. 177 (11). P. 5475-5482. <https://doi.org/10.1007/s00024-020-02568-z> **(Web of Sciences Q3; Scopus) «Мониторинг»**
19. Onishchenko O.G., Pokhotelov O.A., Astaf’eva N.M., Horton W., Fedun V.N. Structure and dynamics of concentrated mesoscale vortices in planetary atmospheres // Physics-USpekhi. 2020. V. 63. No. 7. P. 683. <https://doi.org/10.3367/UFNe.2019.07.038611> **(Web of Sciences Q2, Scopus) РФФИ «Мониторинг»**
20. Levina G.V. Birth of a hurricane: early detection of large-scale vortex instability // Journal of Physics: Conference Series. 2020. V. 1640. 012023. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1640/1/012023> **(Web of Sciences Q4, Scopus) «Мониторинг»**

21. Gusev A., Martin I. Earthy source of natural neutrons // SSRG International Journal of Applied Physics. 2020. V. 7(3). P. 46-48. DOI: 10.14445/23500301/IJAP-V7I3P109 «**Мониторинг**»
22. Gusev A.A., Martin I.M., Vilela D.C. Ground radon as a source of atmospheric neutrons // Global Journal of Engineering Science and Researches. 2020. V. 7(10). P. 1-8. <https://doi.org/10.29121/gjesr.v7.i11.2020.1> «**Мониторинг**»

Книги

23. Ermakov D.M. Satellite radiothermovision of atmospheric processes: Method and applications. Springer Praxis Books series. Springer Intern. Publishing, 2021. 199 p. DOI: 10.1007/978-3-030-57085-9. <https://www.springer.com/gp/book/9783030570842>. «**Мониторинг**»

Главы в книгах

24. Lavrova O.Yu., Mityagina M.I. Natural Oil Slicks in the Southeastern Black Sea // The Handbook of Environmental Chemistry. Berlin; Heidelberg: Springer, 2020. 19 p. https://doi.org/10.1007/698_2020_475. (**Web of Sciences, Scopus**) «**Мониторинг**»
25. Лупян Е.А., Бурцев М.А., Прошин А.А., Кобец Д.А. Развитие подходов к построению информационных систем дистанционного мониторинга // Цифровая трансформация космического приборостроения / под ред. А.А. Романова, А.А. Романова, Ю.М. Урличича. Королёв: АО «ЦНИИмаш», 2020. С. 365–380. **РФФИ** «**Мониторинг**»
26. Kostianaia E.A., Kostianoy A., Lavrova O.Y., Soloviev D.M. Oil Pollution in the Northern Red Sea: A Threat to the Marine Environment and Tourism Development // Environmental Remote Sensing in Egypt / eds. Elbeih S., Negm A., Kostianoy A. Springer Geophysics book ser. Springer, Cham, 2020. P. 329–362. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39593-3_12. (**Scopus**) «**Мониторинг**»

Публикации в отечественных научных рецензируемых изданиях

27. Златопольский А.А., Яровой С.А. Автоматизированный расчет густоты растений по фотографиям с беспилотного летательного аппарата // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. № 7 – в печати (**Scopus Q3, РИНЦ**) «**Мониторинг**»
28. Плотников Д.Е., Колбудаев П.А., Жуков Б.С., Матвеев А.М., Барталев С.А., Егоров В.А., Кашицкий А.В., Прошин А.А. Публикация коллекции мультиспектральных измерений прибором КМСС-М (КА «Метеор-М» №2) для количественной оценки характеристик земной поверхности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. № 7 – в печати (**Scopus Q3, РИНЦ**) «**Мониторинг**»
29. Ковалев Н.А., Лупян Е.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ершов Д.В., Кривошеев Н.П., Мазуров А.А. ИСДМ-Рослесхоз 15 лет эксплуатации и развития // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. № 7 – в печати (**Scopus Q3, РИНЦ**) «**Мониторинг**»
30. Лаврова О.Ю., Лупян Е.А., Барталев С.А., Кобец Д.А. Итоги и особенности Восемнадцатой Всероссийской открытой конференции с международным участием // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. № 7 – в печати (**Scopus Q3, РИНЦ**) «**Мониторинг**»
31. Лупян Е.А., Константинова А.М., Балашов И.В., Кашицкий А.В., Саворский В.П., Панова О.Ю. Разработка системы анализа состояния окружающей среды в зонах

- расположения крупных промышленных объектов, хвостохранилищ и отвалов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. № 7 – в печати (**Scopus Q3, РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**)
32. Крамарева Л.С., Суханова В.В., Бурцев М.А., Амельченко Ю.А., Шамилова Ю.А. Сход скальных пород на реке Буря — год спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 1. С. 271–276. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-271-276. (**Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»**)
 33. Плотников Д.Е., Ёлкина Е.С., Дунаева Е.А., Хвостиков С.А., Лупян Е.А., Барталев С.А. Развитие метода автоматического распознавания озимых культур на основе спутниковых данных для оценки их состояния на территории Республики Крым // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 1(21). С. 64–83. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-1-21-64-83. (**РИНЦ) РФФИ**)
 34. Лупян Е.А., Денисов П.В., Середа И.И., Трошко К.А., Плотников Д.Е., Толпин В.А. Наблюдение развития озимых культур в южных регионах России весной 2020 г. на основе данных дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 2. С. 285–291. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-2-285-291. (**Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»**)
 35. Константинова А.М., Лупян Е.А. Анализ последствий прорыва дамбы Сардобинского водохранилища 1 мая 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 3. С. 261–266. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-261-266. (**Scopus Q3, РИНЦ) РФФИ**)
 36. Трошко К.А., Денисов П.В., Лаврова О.Ю., Лупян Е.А., Медведев А.А. Наблюдение загрязнений реки Амбарной, возникших в результате аварии на ТЭЦ-3 города Норильска 29 мая 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 3. С. 267–274. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-267-274. (**Scopus Q3, РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**)
 37. Златопольский А.А. Получение ориентационных характеристик территории с помощью технологии LESSA. Методика и тестирование на цифровой модели рельефа Предбайкалья // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 4. С. 98–110. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-98-110. (**Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»**)
 38. Денисов П.В., Середа И.И., Трошко К.А., Лупян Е.А., Толпин В.А., Плотников Д.Е. Особенности развития озимых и яровых культур на европейской территории России в сезоне 2019–2020 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 4. С. 306–311. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-306-311. (**Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»**)
 39. Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю., Гордиенко О.А., Дубачева А.А., Омаров Р.С. Анализ влияния запечатанности почвенного покрова и озеленения на поле температур Волгоградской агломерации по данным MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 125–141. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-125-141. (**Scopus Q3, РИНЦ) РФФИ**)
 40. Шинкаренко С.С., Ткаченко Н.А., Барталев С.А., Юферев В.Г., Кулик К.Н. Пыльные бури на юге европейской части России в сентябре – октябре 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 291–296. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-291-296. (**Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»**)
 41. Гирина О.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Кашицкий А.В., Крамарева Л.С., Нуждаев А.А. Анализ событий эксплозивного извержения вулкана Безымянный 21 октября 2020 г. по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 297–303. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-297-303. (**Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»**)
 42. Середа И.И., Денисов П.В., Трошко К.А., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Толпин В.А. Уникальные условия развития озимых культур, наблюдаемые по данным спутникового

- мониторинга на европейской территории России в октябре 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 304–310. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-304-310. **(Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»**
43. Шинкаренко С.С., Барталев С.А. Сезонная динамика NDVI пастбищных ландшафтов Северного Прикаспия по данным MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 4. С. 179–194. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-179-194. **(Scopus Q3, РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**
 44. Алексеева Т.А., Раев М.Д., Тихонов В.В., Соколова Ю.В., Шарков Е.А., Фролов С.В., Сероветников С.С. Сравнительный анализ площади морского льда в Арктике, полученной по данным спутниковой микроволновой радиометрии (алгоритм VASIA2), с ледовыми картами ААНИИ // Исследование Земли из космоса. 2020. № 6. С. 17–23. **(Scopus Q3, РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**
 45. Боярский Д.А., Дмитриев В.В., Тихонов В.В. Прогнозирование лавинной опасности методами микроволновой радиометрии // Современные проблемы дистанционного зондирования. 2020. Т. 17. № 5. С. 269–278. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-269-278. **(Scopus Q3, РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**
 46. Ермаков Д.М., Поляков В.Д., Полякова Е.В. Разработка нового алгоритма восстановления интегрального влагосодержания атмосферы над сушей по данным спутникового радиотеплового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 1. С. 31–41. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-31-41. **(Scopus Q3, РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**
 47. Краюшкин Е.В., Назирова К.Р., Лаврова О.Ю., Князев Н.А. Субмезомасштабный циклонический вихрь за мысом Гвардейский в Юго-восточной Балтике: спутниковые наблюдения и подспутниковые измерения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 4. С. 290–299. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-290-299. **(Scopus Q3, РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**
 48. Кузьмин А.В., Ермаков Д.М., Садовский И.Н., Стерлядкин В.В., Шарков Е.А. Группировка малых космических аппаратов глобального метеорологического наблюдения на базе микроволнового радиометра-спектрометра // Исследование Земли из космоса. 2020. № 6. С. 83–91. DOI: 10.31857/S0205961420060044. **(РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**
 49. Кузьмин А.В., Садовский И.Н., Горшков А.А., Ермаков Д.М. Приборная платформа для надводных измерений морской поверхности и атмосферы // Исследование Земли из космоса. 2020. № 1. С. 83–91. DOI: 10.31857/S0205961420010054. **(РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**
 50. Митягина М.И., Лаврова О.Ю. Выход естественных углеводородов со дна Каспийского моря в районе туркменского шельфа, выявленный по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 2. С. 292–298. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-2-292-298. **(Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»**
 51. Митягина М.И., Лаврова О.Ю. Оценка рисков загрязнения поверхности юго-восточной части Чёрного моря, обусловленного естественными выходами нефти с морского дна // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 3. С. 211–220. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-211-220. **(Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»**
 52. Садовский И.Н., Кузьмин А.В., Козлова Т.О. «Микроволновый радиометр-спектрометр МИРС как основа космического эксперимента «Конвергенция»» // Исследование Земли из космоса. 2020. № 4. С. 86–96. DOI: 10.31857/S0205961420030057. **(РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**
 53. Тихонов В.В., Хвостов И.В., Романов А.Н., Шарков Е.А., Боярский Д.А., Комарова Н.Ю., Синицкий А.И. Особенности собственного излучения Обской губы в L-диапазоне в

- период ледостава // Исследование Земли из космоса. 2020. № 3. С. 59-76. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0205961420030070>. (РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»
54. Ижовкина Н.И., Артеха С.Н., Ерохин Н.С., Михайловская Л.А. Электростатические возмущения неоднородной аэрозольной плазмы и устойчивость атмосферных вихрей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 1. С. 252–259. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-1-252-259> (Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»
 55. Кудашев Е.Б., Яблоник Л.Р. Регистрация частотного спектра пристеночных турбулентных давлений на фоне акустического шума // Акустический журнал. 2020. Т. 66. № 6. С. 632–637. DOI: 10.31857/S032079192005007X (РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»
 56. Шалимов С.Л., Ольшанская Е.В. О возмущениях ионосферы, регистрируемых посредством GPS во время метеоцунами // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56. № 6. С. 660–668. <https://doi.org/10.31857/S0002351520060097> (РИНЦ) «Мониторинг»
 57. Арумов Г.П., Бухарин А.В. Способы измерения эквивалентного сечения частиц среды путем моделирования рассеяния на специальных экранах // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. (в печати) (Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»
 58. Кондратьева Т.В., Жуков Б.С., Полянский И.В. Радиометрические характеристики комплексов многозональной спутниковой съемки КМСС-М на КА «Метеор-М» № 2 и КМСС-2 на КА «Метеор-М» № 2-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. В печати. (Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»

Статьи в сборниках материалов конференций

59. Пашинов Е.В., Стерлядкин В.В., Кузьмин А.В., Шарков Е.А., Садовский И.Н. Нейросетевой алгоритм восстановления профиля влажности атмосферы по данным МТВЗА-ГЯ «Метеор-М» № 2 // 14-я Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» с элементами научной молодёжной школы ФРЭМЭ'2020: тр. конф. Владимир, 2020. Т. 2. С. 251–256. РФФИ «Мониторинг»
60. Романов А.Н., Хвостов И.В., Тихонов В.В., Шарков Е.А., Севастьянова Л.Ю. Дистанционная оценка климатических и гидрологических изменений в северной Евразии на основе ежедневных данных спутникового пассивного микроволнового зондирования // Сборник научных материалов Всероссийской конференции с международным участием «Глобальные проблемы Арктики и Антарктики». 2–5 нояб. 2020, Архангельск. 2020. С. 144–148. (РИНЦ). РФФИ «Мониторинг»
61. Кудашев Е.Б., Яблоник Л.Р. Температурная помеха при измерении шумов обтекания в глубоком море // Акустика океана. Доклады XVII Школы-семинара им. акад. Л.М. Брежневских. XXXIII Сессия Российского Акустического общества. С. 237–241. М.: Институт океанологии РАН, 2020. ISBN 978-5-9901449-5-8. <https://doi.org/29006/978-5-9901449-5-8> РФФИ «Мониторинг»

Материалы конференций

62. Середа И.И., Денисов П.В., Луян Е.А., Плотников Д.Е., Толпин В.А., Трошко К.А. Развитие озимых и яровых культур России в 2020 году на основе данных дистанционного мониторинга // Материалы VI Международной научной конференции «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли». 29 сентября – 2 октября 2020. Красноярск, 2020. С. 39–42. (РИНЦ)

63. Мухамеджанов И.Д., Константинова А.М., Луян Е.А. Использование спутниковых данных при мониторинге рек бассейна Амурары // Материалы VI Международной научной конференции «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли». 29 сентября – 2 октября 2020. Красноярск, 2020. С. 265–270. **РФФИ (РИНЦ)**
64. Трошко К.А., Денисов П.В., Лаврова О.Ю., Луян Е.А., Медведев А.А. Спутниковый мониторинг последствий аварии на Норильской ТЭЦ-3 29 мая 2020 года // Материалы VI Международной научной конференции «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли». 29 сентября – 2 октября 2020. Красноярск, 2020. С. 302–307. **(РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**
65. Гирина О.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В., Нурдаев А.А., Луян Е.А. Активность вулканов Камчатки и Курильских островов в 2019 г. и их опасность для авиации // Материалы XXIII ежегодной научной конференции, посвященной Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы». 30 марта – 1 апреля 2020 г., Петропавловск-Камчатский. 2020. С. 11–14. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
66. Колбудаев П.А., Плотников Д.Е., Матвеев А.М., Барталев С.А., Прошин А.А., Кашицкий А.В. Технология, результаты массовой обработки и характеристики полученных наборов спутниковых данных КМСС (МСУ-100М) для количественной оценки земной поверхности // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 26. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
67. Андреев М.В., Пытков В.Н., Василец П.М., Солодилов А.В., Черных В.Н., Дегай А.Ю. Новые возможности верификации данных с помощью спутникового позиционирования на примере системы мониторинга рыболовства // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 9. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
68. Брилль А.А., Бурцев М.А., Кашицкий А.В., Мазуров А.А. Продукты обработки спутниковых данных о состоянии атмосферы, предоставляемые центром коллективного пользования ИКИ-Мониторинг // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 14. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
69. Гирина О.А., Луян Е.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Нурдаев А.А., Крамарева Л.С., Уваров И.А., Кашицкий А.В., Сорокин А.А., Мальковский С.И., Королев С.П. Результаты мониторинга эксплозивно-эффузивного извержения вулкана Ключевской в 2019–2020 гг. с помощью информационной системы VolSatView // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 75. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**
70. Константинова А.М., Балашов И.В., Кашицкий А.В., Луян Е.А., Прошин А.А., Сенько К.С., Сычугов И.Г. Организация подсистем работы с наблюдениями объектов в сервисах, работающих по технологии GEOSMIS // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 82. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
71. Константинова А.М., Луян Е.А., Панова О.Ю., Саворский В.П. Информационная инфраструктура многолетнего спутникового мониторинга зон, подверженных влиянию источников техногенных отходов и отвалов // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 84. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) РФФИ**

72. Мухамеджанов И.Д., Константинова А.М., Лупян Е.А. Построение сетей космических гидропостов для организации спутникового мониторинга Амударьи // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 94. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) РФФИ**
73. Трошко К.А., Денисов П.В., Лаврова О.Ю., Лупян Е.А., Медведев А.А. Спутниковое наблюдение последствий аварии на норильской ТЭЦ-3 29 мая 2020 года // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 102. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) РФФИ**
74. Балашов И.В., Константинова А.М., Толпин В.А., Кобец Д.А., Бурцев М.А. Система подготовки данных к публикации в картографических интерфейсах ОСРД НИЦ «Планета» // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 66. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
75. Бурцев М.А., Прошин А.А., Сычугов И.Г., Фролова Е.А., Екимов Н.С. Развитие системы диспетчеризации, управления и контроля обработки данных КА «Электро-Л» и «Арктика-М» для работы с объединённой группировкой // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 70. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
76. Василец П.М., Черных В.Н. Пространственное распределение и сезонная динамика вылова камчатского, синего и равношипного крабов северной части Охотского моря в 2018 году по данным системы мониторинга рыболовства // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 71. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
77. Лупян Е.А., Лозин Д.В., Балашов И.В., Сенько К.С. Инструменты оперативного прогноза гибели лесов на основе данных о радиационной мощности пожаров // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 89. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
78. Прошин А.А., Константинова А.М., Лупян Е.А., Толпин В.А., Кашицкий А.В. Система управления расчетом и отображением получаемых на основе обработки спутниковых данных показателей по объектам мониторинга // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 96. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
79. Бриль А.А., Кашицкий А.В., Мазуров А.А., Горный В.И., Киселев А.В., Манвелова А.Б. Анализ ущерба лесной растительности на основе спутниковых данных эвапотранспирации // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 110. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) РФФИ**
80. Гирина О.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Нурдаев А.А., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Крамарева Л.С. Динамика развития эксплозивного извержения вулкана Безымянный 15 марта 2019 г. по спутниковым данным // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 282. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
81. Лупян Е.А., Лозин Д.В., Балашов И.В., Сенько К.С., Мазуров А.А. О связи энергетических характеристик пожаров с повреждениями лесного покрова // Материалы

- Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 339. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
82. *Плотников Д.Е., Ёлкина Е.С., Барталев С.А.* Спутниковый мониторинг сахарного тростника в Южной Индии с помощью Sentinel-2 для оценки водообеспечения и азотного питания плантаций // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 353. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) РФФИ**
83. *Середа И.И., Денисов П.В., Трошко К.А., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Толпин В.А.* Оценка урожайности пшеницы озимой с использованием сервиса спутникового мониторинга Вега // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 360. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
84. *Шинкаренко С.С., Барталев С.А.* Закономерности сезонной динамики NDVI аридных пастбищных ландшафтов России и сопредельных территорий // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 377. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) РФФИ**
85. *Ёлкина Е.С., Плотников Д.Е., Барталев С.А.* Подходы к детектированию посевов сахарного тростника в Южной Индии на основе спутниковых данных // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 380. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) РФФИ**
86. *Балашов И.В., Лупян Е.А., Сайгин И.А., Сенько К.С., Стыценко Ф.В., Мазуров А.А.* Особенности использования набора данных МС6 для оценки площадей, пройденных лесными пожарами // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 300. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
87. *Лупян Е.А., Балашов И.В., Сенько К.С., Бурцев М.А., Стыценко Ф.В., Мазуров А.А.* Обновленный многолетний ряд данных о пожарах на территории России по данным MODIS коллекции 6 // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 341. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
88. *Лупян Е.А., Балашов И.В., Сенько К.С., Сычуглов И.Г.* Особенности распределения точек возникновения лесных пожаров на территории России в 21 веке // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 342. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
89. *Самофал Е.В., Стыценко Ф.В., Барталев С.А., Егоров В.А.* Исследование постпожарной динамики лесной растительности // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 359. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ)**
90. *Середа И.И., Трошко К.А., Лупян Е.А., Марченков В.В., Толпин В.А.* Результаты дистанционного мониторинга озимых и яровых культур сезона 2019–2020 гг. // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 361. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**

91. Толпин В.А., Комаров В.Б. Анализ эффективности нормировки на температуру при построении «норм» среднемноголетней временной динамики вегетационных индексов // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 371. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
92. Середа И.И., Денисов П.В., Трошко К.А. Региональный сельскохозяйственный мониторинг с использованием спутникового сервиса Вега (МАСТЕР-КЛАСС) // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 417. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
93. Руткевич П.Б., Руткевич Б.П. Крупномасштабные структуры в модели спиральной турбулентности // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 174. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
94. Лупян Е.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Бурцев М.А., Кашицкий А.В., Толпин В.А., Уваров И.А. Опыт создания и эксплуатации информационных систем и сервисов дистанционного мониторинга для решения научных и прикладных задач на базе ЦКП «ИКИ-Мониторинг» // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 2. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) РФФИ**
95. Мухамеджанов И.Д., Константинова А.М. Восстановление трехмерного изображения по цифровой модели рельефа для мониторинга динамики водных объектов Центральной Азии // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 93. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) РФФИ**
96. Шинкаренко С.С., Берденгадиева А.Н., Иванов Н.М. Ландшафтные пожары на особо охраняемых природных территориях в аридной зоне России // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 378. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) РФФИ**
97. Середа И.И., Денисов П.В., Трошко К.А. Региональный сельскохозяйственный мониторинг с использованием спутникового сервиса Вега // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 418. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
98. Бурцев М.А., Прошин А.А., Матвеев А.М., Мазуров А.А., Кобец Д.А. Организация потоковой обработки данных в объединенной системе работы с данными НИЦ «Планета» // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 430. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
99. Аглова Е.А., Лаврова О.Ю. Исследование межгодовой, сезонной и пространственной изменчивости интенсивности цветения фитопланктона в Рыбинском водохранилище на основе спутниковых данных // Материалы 11-й международной Школы-семинара «Спутниковые методы и системы исследования Земли». Таруса, 16–20 марта 2020. URL: http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2019.html. **«Мониторинг»**
100. Алексеева Т.А., Тихонов В.В., Раев М.Д., Соколова Ю.В., Фролов С.В., Шарков Е.А., Сероветников С.С. Обзор ошибок в определении сплоченности ледяного покрова, полученной по данным спутниковой микроволновой радиометрии, обусловленных природными факторами // Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 нояб. 2020, ИКИ РАН, Москва. 2020. **(РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**

101. Боярский Д.А., Дмитриев В.В., Тихонов В.В. Анализ изменений стратиграфии снежной толщи по данным микроволновой радиометрии на частоте 3,75 ГГц для решения задач мониторинга снежного покрова // Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 нояб. 2020, ИКИ РАН, Москва. 2020. **(РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**
102. Ванина-Дарт Л.Б. Роль солёности в процессах тропического циклогенеза в Атлантическом океане // Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 нояб. 2020, ИКИ РАН, Москва. 2020. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
103. Ванина-Дарт Л.Б. Широтное воздействие на стратосферно-ионосферные связи // Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 нояб. 2020, ИКИ РАН, Москва. 2020. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
104. Ермаков Д.М., Кузьмин А.В., Пашинов Е.В., Стерлядкин В.В., Чернушич А.П., Шарков Е.А. Сравнение потоков атмосферного скрытого тепла по данным спутникового радиотепловидения, метеостанций и реанализа // Материалы 18-й Всероссийской Открытой конференции с международным участием «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 148. DOI 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
105. Князев Н.А. Использование инструментария Sentinel Application Platform (SNAP) для работы со спутниковыми продуктами архива OceanColor WEB // Материалы 11-й международной Школы-семинара «Спутниковые методы и системы исследования Земли». Таруса, 16–20 марта 2020. URL: http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2019.html. **«Мониторинг»**
106. Князев Н.А. Разработка программного модуля для автоматической подготовки STD данных и интегрирование результатов обработки в систему спутникового мониторинга STS // Материалы 11-й международной Школы-семинара «Спутниковые методы и системы исследования Земли». Таруса, 16–20 марта 2020. URL: http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2019.html. **«Мониторинг»**
107. Лаврова О.Ю., Назирова К.Р., Алферьева Я.О., Князев Н.А. Вынос р. Кубань в Темрюкский залив: спутниковые наблюдения и измерения in situ // Материалы 18-й Всероссийской Открытой конференции с международным участием «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 218. DOI 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
108. Митягина М.И. Радиолокационные методы наблюдения и изучения процессов и явлений в океане и приземном слое атмосферы // Материалы 11-й международной Школы-семинара «Спутниковые методы и системы исследования Земли». Таруса, 16–20 марта 2020. URL: http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2019.html. **«Мониторинг»**
109. Назирова К.Р., Краюшкин Е.В., Лаврова О.Ю., Князев Н.А. Результаты исследования распространения вод Калининградского залива через Балтийский канал на основе подспутниковых измерений в августе 2020 г. // Материалы 18-й Всероссийской Открытой конференции с международным участием «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 233. DOI 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
110. Назирова К.Р., Лаврова О.Ю., Строчков А.Я., Алферьева Я.О. Результаты подспутниковых экспериментов 2018–2019 гг. в приустьевой зоне р. Мзымта // Материалы 11-й международной Школы-семинара «Спутниковые методы и системы исследования Земли». Таруса, 16–20 марта 2020. URL: http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2019.html. **«Мониторинг»**

111. Пашинов Е.В., Садовский И.Н., Сазонов Д.С., Кузьмин А.В., Шарков Е.А. Возможности получения основных климатологических продуктов на основе данных ДЗЗ МТВЗА-ГЯ «Метеор-М» № 2-2 // Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 нояб. 2020, ИКИ РАН, Москва. 2020. С. 37. DOI 10.21046/18DZZconf-2020a. **(РИНЦ) «Мониторинг»**
112. Поляков В.Д., Ермаков Д.М., Полякова Е.В. Повышение точности расчета интегрального влагосодержания атмосферы над сушей по данным спутниковых радиометров SSM/I и SSMIS // Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 нояб. 2020, ИКИ РАН, Москва. 2020. С. 38. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a **(РИНЦ) «Мониторинг»**
113. Романов А.Н., Тихонов В.В., Хвостов И.В., Трошкин Д.Н., Уланов П.Н., Боярский Д.А., Шарков Е.А. Некоторые особенности собственного микроволнового излучения заболоченных территорий Западно-Сибирской низменности по ежедневным данным спутника SMOS // Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 нояб. 2020, ИКИ РАН, Москва. 2020. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a **(РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**
114. Садовский И.Н. Третий параметр Стокса собственного излучения взволнованной морской поверхности. Теория и эксперимент // Материалы 18-й Всероссийской открытой конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» 16–20 нояб. 2020, ИКИ РАН, Москва. 2020. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a **(РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**
115. Садовский И.Н., Сазонов Д.С. Третий параметр Стокса собственного излучения взволнованной морской поверхности. Результаты натурных измерений // Материалы 18-й Всероссийской открытой конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 нояб. 2020, ИКИ РАН, Москва. 2020. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a **(РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**
116. Сазонов Д.С. Дополнительный алгоритм корректировки недостоверных решений при восстановлении направления ветра со спутника // Материалы 18-й Всероссийской открытой конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 нояб. 2020, ИКИ РАН, Москва. 2020. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a **(РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**.
117. Сазонов Д.С., Кузьмин А.В., Пашинов Е.В. Восстановление температуры поверхности океана и скорости приводного ветра по данным прибора МТВЗА // Материалы 18-й Всероссийской открытой конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» 16–20 нояб. 2020, ИКИ РАН, Москва. 2020. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a **(РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**
118. Смирнов М.Т., Данилычев М.В., Ермаков Д.М. Совместное использование методов радиоинтерферометрии и панорамных измерений для повышения информативности СВЧ-радиометрических измерений // Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 нояб. 2020, ИКИ РАН, Москва. 2020. С. 48. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a **(РИНЦ). «Мониторинг»**
119. Стерлядкин В.В., Кузьмин А.В., Шарков Е.А. Струнный волнограф с инфракрасной регистрацией длины струн // Материалы 18-й Всероссийской открытой конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» 16–20 нояб. 2020, ИКИ РАН, Москва. 2020. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a **(РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**
120. Тихонов В.В., Романов А.Н., Алексеева Т.А., Хвостов И.В., Боярский Д.А., Синецкий А.И., Шарков Е.А., Комарова Н.Ю. Анализ гидрологического режима

Обской губы в период ледостава по данным спутниковой микроволновой радиометрии // Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 нояб. 2020, ИКИ РАН, Москва. 2020. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a (РИНЦ) **РФФИ «Мониторинг»**

121. *Левина Г.В.* Дистанционная точная диагностика тропического циклогенеза на основе GOES Imagery и облачно-разрешающего численного моделирования // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой ежегодной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 нояб. 2020, Москва, ИКИ РАН. 2020. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a XVIII.D.301. (РИНЦ) **«Мониторинг»**
122. *Арумов Г.П., Бухарин А.В.* Сравнение способов измерения эквивалентного сечения для задач дистанционного зондирования атмосферы // Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 нояб. 2020, ИКИ РАН, Москва. 2020. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a XVIII.D.351 (РИНЦ) **«Мониторинг»**
123. *Арумов Г.П., Бухарин А.В., Тюрин А.В.* Статистические модели рассеивающих центров с минимальным количеством параметров для задач формирования лидарных сигналов от рассеивающего слоя // Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 нояб. 2020, ИКИ РАН, Москва. 2020. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a XVIII.D.352 (РИНЦ) **«Мониторинг»**
124. *Втюрин С.А., Князев Н.А.* Процедура отбора алгоритма идентификации в реальном времени облачных образований из космоса // Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» 16–20 нояб. 2020, ИКИ РАН, Москва. 2020. XVIII.A.481, С. 17. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a (РИНЦ) **«Мониторинг»**
125. *Князев Н.А., Втюрин С.А.* Выбор спектрального участка для спутникового мониторинга содержания метана в приземном слое атмосферы // Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» 16–20 нояб. 2020, ИКИ РАН, Москва. 2020. XVIII.C.502, С. 117. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a (РИНЦ) **«Мониторинг»**

Тезисы, доклады, циркуляры

126. *Петрукович А.А., Зеленый Л.М., Лупян Е.А., Барталев С.А.* Современные информационные технологии для дистанционного мониторинга арктического региона России // Тезисы докладов Международной научной конференции «Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики». 2–4 марта 2020, Санкт-Петербург. СПб: ГНЦ РФ ААНИИ, 2020. С. 105–106. **«Мониторинг»**
127. *Руткевич П.Б., Голицын Г.С., Руткевич П.П., Тур А.В.* Влияние силы Кориолиса на АКА эффект // Всероссийская конференция, посвященная памяти академика Александра Михайловича Обухова «Турбулентность, динамика атмосферы и климата». 10–12 нояб. 2020. Сборник тезисов докладов. М.: Физматкнига, 2020. С. 26. **«Мониторинг»**
128. *Балашов И.В., Сычугов И.Г., Прошин А.А.* Создание отказоустойчивых узлов доступа к данным ДЗЗ в системах мониторинга // XVII Конференция молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования». 30 сентября – 2 окт. 2020, Москва, ИКИ РАН. Сборник тезисов / под ред. А.М. Садовского, 2020. С. 155. **«Мониторинг»**

129. Бриль А.А., Кашицкий А.В., Константинова А.М., Лупян Е.А. Актуальные возможности изучения параметров пепловых вулканических шлейфов по спутниковым данным // XVII Конференция молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования». 30 сентября – 2 октября 2020, Москва, ИКИ РАН. Сборник тезисов / под ред. А.М. Садовского. 2020. С. 159. **«Мониторинг»**
130. Ёлкина Е.С., Барталев С.А., Плотников Д.Е., Самофал Е.В. Возможности спутникового мониторинга развития посевов сахарного тростника в Южной Индии // XVII Конференция молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования». 30 сентября – 2 октября 2020, Москва, ИКИ РАН. Сборник тезисов / под ред. А.М. Садовского. 2020. С. 161.
131. Колбудаев П.А., Плотников Д.Е., Матвеев А.М., Барталев С.А. Метод географической допривязки данных и выявления облачности на изображениях МСУ на основе пространственного анализа и градиента яркости объектов земной поверхности // XVII Конференция молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования». 30 сентября – 2 октября 2020, Москва, ИКИ РАН. Сборник тезисов / под ред. А.М. Садовского. 2020. С. 165-166. **«Мониторинг»**
132. Лозин Д.В., Балашов И.В. Постпожарные карты распределений интенсивности горения // XVII Конференция молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования». 30 сентября – 2 октября 2020, Москва, ИКИ РАН. Сборник тезисов / под ред. А.М. Садовского. 2020. С. 167. **«Мониторинг»**
133. Матвеев А.М., Мазуров А.А., Пашинов Е.В. Блок первичной обработки данных микроволновых зондировщиков спутников серии МЕТЕОР-М и практическое применение этих данных для анализа состояния атмосферы // XVII Конференция молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования». 30 сентября – 2 октября 2020, Москва, ИКИ РАН. Сборник тезисов / под ред. А.М. Садовского. 2020. С. 169. **«Мониторинг»**
134. Мухамеджанов И.Д., Константинова А.М. Анализ динамики русла реки Амударьи с использованием спутниковых данных // XVII Конференция молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования». 30 сентября – 2 октября 2020, Москва, ИКИ РАН. Сборник тезисов / под ред. А.М. Садовского. 2020. С. 171–172. **РФФИ**
135. Шинкаренко С.С., Дорошенко В.В., Берденгалиева А.Н. Анализ изменений пожарного режима ландшафтов Волгоградской области по данным детектирования активного горения // XVII Конференция молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования». 30 сентября – 2 октября 2020, Москва, ИКИ РАН. Сборник тезисов / под ред. А.М. Садовского. 2020. С. 179. **РФФИ**
136. Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Лупян Е.А., Радченко М. В., Сычуглов И. Г. ЦКП «ИКИ-Мониторинг», текущие возможности и направления развития // Всероссийская научная конференция с международным участием «Земля и космос». 20 окт. 2020, Санкт-Петербургский научный центр РАН. 2020. **«Мониторинг»**
137. Лупян Е.А. ЦКП «ИКИ-Мониторинг» — основные задачи и возможности использования // Семинар «Инновационные решения в землеустройстве и кадастрах на основе технологий ДЗЗ». 23 сент. 2020, Государственный университет по землеустройству. 2020. **«Мониторинг»**
138. Денисов П.В. Сервисы спутникового мониторинга «Вега» для сельского хозяйства // Семинар «Инновационные решения в землеустройстве и кадастрах на основе технологий ДЗЗ». 23 сент. 2020, Государственный университет по землеустройству. 2020. **«Мониторинг»**
139. Трошко К.А. Применение сервисов Вега для оценки использования и состояния сельскохозяйственных земель // Семинар «Инновационные решения в землеустройстве и кадастрах на основе технологий ДЗЗ». 23 сент. 2020, Государственный университет по землеустройству. 2020. **«Мониторинг»**

140. *Серета И.И.* Использование сервисов Вега для оценки состояния посевов сельскохозяйственных культур // Семинар «Инновационные решения в землеустройстве и кадастрах на основе технологий ДЗЗ». 23 сент. 2020, Государственный университет по землеустройству. 2020. «Мониторинг»
141. *Денисов П.В., Кашицкий А.В., Лупян Е.А., Серета И.И., Толпин В.А., Трошко К.А.* Возможности оценки используемости пашни в сервисах спутникового мониторинга «Вега» на примере Приморского края // Международная научно-практическая конференция «Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса», посвященная 85-летию Дальневосточного научно-исследовательского института сельского хозяйства. 16 июля 2020, Хабаровск. 2020. «Мониторинг»
142. *Ermakov D.M., Chernushich A.P., Sharkov E.A., Savorskiy V.P.* Large-scale atmospheric circulation in the 21st century according to satellite radiothermovision // Международная научная конференция «Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики»: тез. докл. Санкт-Петербург, 2–4 марта 2020, ГНЦ РФ ААНИИ, Санкт-Петербург. 2020. С. 131–133. (РИНЦ) «Мониторинг»
143. *Smolina A., Lavrova O.* Possibility of using high-resolution satellite data for the study of solid waste // SPIE Remote Sensing 2020 Symp. 21–25 Sept. 2020. Free Digital Forum, <https://spie.org/conferences-and-exhibitions/past-conferences-and-exhibitions/remote-sensing-2020>. «Мониторинг»
144. *Levina G.V.* Helical tropical cyclogenesis: detection of pre-depression large-scale vortex instability // Abstracts of the 34th AMS Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology. New Orleans, LA, USA. 2020/2021. 371535. <https://ams.confex.com/ams/34HURR/meetingapp.cgi/Paper/371535> «Мониторинг»
145. *Левина Г.В.* Турбулентное вихревое динамо в тропической атмосфере: диагностика зарождения урагана Isaias (2020) // XXIX Научная сессия Совета РАН по нелинейной динамике. Москва, Институт океанологии им. П.П. Ширшова, 14–15 дек. 2020. Краткие аннотации выступлений. С. 37. «Мониторинг»
146. *Пашинов Е.В., Стерлядкин В.В., Кузьмин А.В., Шарков Е.А., Садовский И.Н.* Нейросетевой алгоритм восстановления профиля влажности атмосферы по данным МТВЗА-ГЯ МЕТЕОР-М №2 // 14-я Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» с элементами научной молодежной школы ФРЭМЭ'2020: Труды конференции. Владимир, 2020. Т 2. С. 251–256. ISBN 978-5-905527-38-8 **РФФИ** «Мониторинг»

Патенты

147. *Селиверстов С.В., Иомдина Е.Н., Ханджян А.Т., Сенгаева М.Д., Теплякова К.О., Полякова О.Н., Тихонов В.В., Гольцман Г.Н.* Способ оценки гидратации роговицы глаза в субтерагерцевом диапазоне частот. Патент на изобретение № 2 726 130. Оpubл. бюл. № 19 от 09.07.2020.
148. *Стерлядкин В.В.* Бескалибровочный способ измерения комплексной диэлектрической проницаемости по отражению от поверхности раздела в безэховой камере. Патент RU 2 715 350 Рег. 26.02.2020 г.
149. *Стерлядкин В.В.* Оптический струнный волнограф. Патент RU 2 712755 С1. Оpubл. 31.01.2020 г.
150. *Стерлядкин В.В.* Способ определения двумерного распределения уклонов волн на водной поверхности. Патент RU 2 715349 Рег. 26.02.2020 г.
151. *Стерлядкин В.В., Куликовский К.В., Лихачева М.В.* Струнный волнограф с инфракрасной регистрацией длины струн. Патент RU 2 711585. Рег. 17.01.2020 г.

Публикации (РНФ)

1. Уваров И.А., Платонов А.Е., Титков А.В., Толпин В.А., Малеев В.В. Интеграция временных рядов спутниковых и метеорологических данных со статистическими данными в информационных системах мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 7. - в печати
2. Гирина О.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Лупян Е.А., Крамарева Л.С. Характеристика событий эксплозивного извержения вулкана Безымянный 15 марта 2019 г. по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 3. С. 102–114. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-102-114. (Scopus Q3, РИНЦ)
3. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г. Использование современных спутниковых данных для мониторинга сгонно-нагонных явлений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 2. С. 227–242. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-2-227-242.
4. Ховратович Т.С., Барталев С.А. Методы дистанционной оценки показателей горизонтальной структуры древесного полога по данным спутниковой системы MODIS // XVII Конференция молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования». 30 сентября – 2 октября 2020, Москва, ИКИ РАН. Сборник трудов / под ред. А.М. Садовского, 2020. С. 149–154. DOI: 10.21046/KMU-2020-149-154.
5. Уваров И.А., Дубянский В.М., Малеев В.В., Платонов А.Е., Титков А.В. Создание в ИС «Вега-Science» специализированных инструментов анализа данных для решения задач изучения и мониторинга природно-очаговых инфекций // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 103. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a.
6. Уваров И.А., Лаврова О.Ю., Митягина М.И. Оценки пространственных распределений и вероятностно-временных характеристик явлений на морской поверхности в рамках системы See the Sea // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 104. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a.
7. Богодухов М.А., Барталев С.А., Жарко В.О. Исследование возможностей использования данных системы спутникового лазерного сканирования ATLAS/ICESat-2 для оценки высоты и продуктивности лесов // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 302. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a.
8. Ворущилов И.И., Барталев С.А., Егоров В.А. Развитие метода оценки запасов стволовой древесины с использованием данных Terra-MODIS // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 305. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a.
9. Хвостиков С.А., Барталев С.А., Жарко В.О. Метод оценки продуктивности и возраста лесных насаждений на основе временного ряда дистанционно измеренных запасов стволовой древесины // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 375. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a.
10. Ховратович Т.С., Барталев С.А. Анализ результатов оценки показателей горизонтальной структуры древесного полога по данным спутниковой системы MODIS // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 376. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a.

11. Миклашевич Т.С., Барталев С.А. Апробация интерполяционного алгоритма восстановления временных рядов на спутниковых данных высокого временного разрешения // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 346. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a.
12. Сайгин И.А., Барталев С.А., Стыценко Ф.В. Методика динамической актуализации опорной выборки для классификации растительности на основе спутниковых данных // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 358. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a.
13. Стыценко Ф.В., Барталев С.А., Сайгин И.А. Методика ежегодного картографирования необлесенных гарей на основе спутниковых данных // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 366. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a.
14. Lavrova O., Kostianoy A. Spatio-temporal variability of internal waves in the Caspian Sea // EGU General Assembly 2020. Online, 4–8 May 2020. EGU2020-10011. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-10011>, 2020.
15. Князев Н.А. Мониторинг интенсивного цветения фитопланктона в Средней и Южной частях Каспийского моря на основе спутниковых оптических данных (2007–2013, 2020 гг.) // Материалы 18-й Всероссийской Открытой конференции с международным участием «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 213. DOI 10.21046/18DZZconf-2020a.).
16. Богодухов М.А., Барталев С.А., Жарко В.О. Метод оценки продуктивности восстанавливающегося лесного покрова на основе продуктов обработки данных ДЗЗ и моделей хода роста лесных насаждений // XVII Конференция молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования». 30 сентября – 2 октября 2020, Москва, ИКИ РАН. Сборник трудов / под ред. А.М. Садовского, 2020. С. 157–158.
17. Миклашевич Т.С., Барталев С.А. Восстановление искаженных и пропущенных данных во временных рядах спутниковых наблюдений растительного покрова в режиме оперативного мониторинга // XVII Конференция молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования». 30 сентября – 2 октября 2020, Москва, ИКИ РАН. Сборник трудов / под ред. А.М. Садовского, 2020. С. 170.
18. Сайгин И.А. Метод детектирования долгосрочных усыханий хвойных вечнозеленых лесов России на основе спутниковых данных // XVII Конференция молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования». 30 сентября – 2 октября 2020, Москва, ИКИ РАН. Сборник трудов / под ред. А.М. Садовского, 2020. С. 174.
19. Ховратович Т.С., Барталев С.А. Методы дистанционной оценки показателей горизонтальной структуры древесного полога по данным спутниковой системы MODIS // XVII Конференция молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования». 30 сентября – 2 октября 2020, Москва, ИКИ РАН. Сборник трудов / под ред. А.М. Садовского, 2020. С. 177-178.
20. Барталев С.А. Крупномасштабные изменения лесов России в XXI веке по данным спутниковых наблюдений // Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 416. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a.
21. Ворушилов И.И., Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О. Построение набора опорных данных для оценки запаса стволовой древесины с использованием данных TERRA-MODIS // XVII Конференция молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования». 30 сентября – 2 октября 2020, Москва, ИКИ РАН. Сборник тезисов / под ред. А.М. Садовского, 2020. С. 160.

22. *Барталев С.А., Ворушилов И.И., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Сайгин И.А., Самофал Е.В., Стыценко Ф.В., Стыценко Е.А., Хвостиков С.А., Ховратович Т.С.* Новые факты о характеристиках и динамике лесов России по данным спутниковых наблюдений // IV Всероссийская научная конференция с международным участием «Научные основы устойчивого управления лесами». 27–30 окт. 2020. ЦЭПЛ РАН.
23. *Барталев С.А., Плотников Д.Е., Шинкаренко С.С.* Возможности использования результатов спутникового картографирования земного покрова для прогнозирования поверхностного стока // Национальная научная конференция «Лесная мелиорация и эколого-гидрологические проблемы Донского водосборного бассейна». 29–30 окт. 2020. Волгоград.
24. *Барталев С.А.* Возможности спутникового мониторинга бюджета углерода лесов России // Всероссийская научная конференция с международным участием «Земля и космос». 20 октября 2020, Санкт-Петербургский научный центр РАН.
25. *Назирова К.Р., Краюшкин Е.В.* Картирование вихревых структур в Каспийском море по радиолокационным и оптическим данным за 2007–2013 гг. и 2020 г. // Материалы 18-й Всероссийской Открытой конференции с международным участием «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 233. DOI 10.21046/18DZZconf-2020a.
26. *Lavrova O., Bocharova T., Storchkov A.* Differences in internal wave signatures in SAR and Ocean Color data in non-tidal seas // SPIE Remote Sensing 2020 Symp. 21–25 Sept. 2020 Free Digital Forum, <https://spie.org/conferences-and-exhibitions/past-conferences-and-exhibitions/remote-sensing-2020>.
27. *Mityagina M.I., Lavrova O.Yu.* Oil pollution hotspots on the Caspian Sea surface identified using satellite remote sensing // SPIE Remote Sensing 2020 Symp. 21–25 Sept. 2020 Free Digital Forum, <https://spie.org/conferences-and-exhibitions/past-conferences-and-exhibitions/remote-sensing-2020>.

Публикации, подготовленные в соавторстве с зарубежными учеными

1. *Li X., Huang H., Shabanov N.V., Chen L., Yan K., Shi J.* Extending the stochastic radiative transfer theory to simulate BRDF over forests with heterogeneous distribution of damaged foliage inside of tree crowns // Remote Sensing of Environment. 2020. V. 250. DOI: doi.org/10.1016/j.rse.2020.112040.
2. *Onishchenko O.G., Pokhotelov O.A., Astaf'eva N.M., Horton W., Fedun V.N.* Structure and dynamics of concentrated mesoscale vortices in planetary atmospheres // Physics-Uspekhi. 2020. V. 63. No. 7. P. 683. <https://doi.org/10.3367/UFNe.2019.07.038611>
3. *Gusev A., Martin I.* Earthy source of natural neutrons // SSRG International Journal of Applied Physics. 2020. V. 7(3). P. 46-48. DOI: 10.14445/23500301/IJAP-V7I3P109
4. *Gusev A.A., Martin I.M., Vilela D.C.* Ground radon as a source of atmospheric neutrons // Global Journal of Engineering Science and Researches. 2020. V. 7(10). P. 1–8. <https://doi.org/10.29121/gjesr.v7.i11.2020.1>

Публикации по теме Мониторинг в рецензируемых изданиях

1. *Kashnitskiy A.V., Balashov I.V., Bartalev S.A., Egorov V.A., Kobets D.A., Zharko V.O., Loupian E.A.* Regional monitoring of forests using the Vega-Les system: case study for Tungusko-Chunskoye forest management unit and Tunguska reserve in the Russian Krasnoyarsk region // E3S Web of Conferences. Regional Problems of Earth Remote Sensing (RPERS 2020), 2020. 223. P. 01003. DOI: doi.org/10.1051/e3sconf/202022301003. (Scopus, РИНЦ) «Мониторинг»

2. *Bourtsev M.A., Kashnitskiy A.V., Loupian E.A., Mazurov A.A., Pustynskiy I.S., Kholodov E.I.* Histogram comparison crosscalibration method applied for evaluating the quality of “Canopus-v-ir” data // E3S Web of Conferences. Regional Problems of Earth Remote Sensing (RPERS 2019), 2020. 149. 01001. DOI: doi.org/10.1051/e3sconf/202014901001. **(Scopus, РИНЦ) «Мониторинг»**
3. *Uvarov I.A., Marchenkov V.V., Tolpin V.A.* Meteorological data analysis capabilities in the “VEGA constellation” information systems family // E3S Web of Conferences. Regional Problems of Earth Remote Sensing (RPERS 2019), 2020. 149. 01003. DOI: doi.org/10.1051/e3sconf/202014901003. **(Scopus, РИНЦ) «Мониторинг»**
4. *Denisov P.V., Kashnitskiy A.V., Loupian E.A., Sereda I.I., Tolpin V.A., Troshko K.A.* Assessment of arable lands use in the VEGA satellite monitoring services on the example of Primorsky Krai // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2020. V. 547. P. 012005. DOI: 10.1088/1755-1315/547/1/012005. **(Scopus, РИНЦ) «Мониторинг»**
5. *Li X., Huang H., Shabanov N.V., Chen L., Yan K., Shi J.* Extending the stochastic radiative transfer theory to simulate BRDF over forests with heterogeneous distribution of damaged foliage inside of tree crowns // Remote Sensing of Environment. 2020. V. 250. DOI: doi.org/10.1016/j.rse.2020.112040. **(Web of Sciences Q1, Scopus) «Мониторинг»**
6. *Sterlyadkin V.V.* Some Aspects of the Scattering of Light and Microwaves on Non-Spherical Raindrops // Atmosphere. 2020. V. 11. Iss. 5. Art. No. 531. 19 p. <https://doi.org/10.3390/atmos11050531>. **(Web of Sciences Q3, Scopus). «Мониторинг»**
7. *Lavrova O.Yu., Soloviev D.M., Storchkov A.Ya., Nazirova K.R., Krayushkin E.V., Zhuk E.V.* The Use of Mini-Drifters in Coastal Current Measurements Conducted Concurrently with Satellite Imaging // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2020. V. 56. No. 9. P. 1022–1033. DOI: 10.1134/S0001433820090157. **(Web of Science, Scopus Q3, РИНЦ). «Мониторинг»**
8. *Tikhonov V.V., Khvostov I.V., Romanov A.N., Sharkov E.A., Boyarskii D.A., Komarova N.Yu., Sinitskiy A.I.* L-Band Radiative Features of the Ob Bay in the Freeze-Up Period // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2020. V. 56. No. 9. P. 936–949. DOI: 10.1134/S0001433820090236. **(Web of Sciences Q3, Scopus) «Мониторинг»**
9. *Izhovkina N.I., Artekha S.N., Erokhin N.S., Mikhailovskaya L.A.* Electrostatic Disturbances of Aerosol Atmospheric Plasma: Beaded Lightning // Pure and Applied Geophysics. 2020. V. 177 (11). P. 5475–5482. <https://doi.org/10.1007/s00024-020-02568-z> **(Web of Sciences Q3; Scopus) «Мониторинг»**
10. *Onishchenko O.G., Pokhotelov O.A., Astaf'eva N.M., Horton W., Fedun V.N.* Structure and dynamics of concentrated mesoscale vortices in planetary atmospheres // Physics-Uspekhi. 2020. V. 63. No. 7. P. 683. <https://doi.org/10.3367/UFNe.2019.07.038611> **(Web of Sciences Q2, Scopus) РФФИ «Мониторинг»**
11. *Levina G.V.* Birth of a hurricane: early detection of large-scale vortex instability // Journal of Physics: Conference Series. 2020. V. 1640. 012023. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1640/1/012023> **(Web of Sciences Q4, Scopus) «Мониторинг»**
12. *Gusev A., Martin I.* Earthy source of natural neutrons // SSRG International Journal of Applied Physics. 2020. V. 7(3). P. 46–48. DOI: 10.14445/23500301/IJAP-V7I3P109 **«Мониторинг»**
13. *Gusev A.A., Martin I.M., Vilela D.C.* Ground radon as a source of atmospheric neutrons // Global Journal of Engineering Science and Researches. 2020. V. 7(10). P. 1–8. <https://doi.org/10.29121/gjesr.v7.i11.2020.1> **«Мониторинг»**
14. *Ermakov D.M.* Satellite radiothermovision of atmospheric processes: Method and applications. Springer Praxis Books series. Springer Intern. Publishing, 2021. 199 p. DOI: 10.1007/978-3-030-57085-9. <https://www.springer.com/gp/book/9783030570842>. **«Мониторинг»**
15. *Lavrova O.Yu., Mityagina M.I.* Natural Oil Slicks in the Southeastern Black Sea // The Handbook of Environmental Chemistry. Berlin; Heidelberg: Springer, 2020. 19 p. https://doi.org/10.1007/698_2020_475. **(Web of Sciences, Scopus) «Мониторинг»**

16. Лупян Е.А., Бурцев М.А., Прошин А.А., Кобец Д.А. Развитие подходов к построению информационных систем дистанционного мониторинга // Цифровая трансформация космического приборостроения / под ред. А.А. Романова, А.А. Романова, Ю.М. Урличича. Королёв: АО «ЦНИИмаш», 2020. С. 365–380. **РФФИ «Мониторинг»**
17. Kostianaia E.A., Kostianoy A., Lavrova O.Y., Soloviev D.M. Oil Pollution in the Northern Red Sea: A Threat to the Marine Environment and Tourism Development // Environmental Remote Sensing in Egypt / eds. Elbeih S., Negm A., Kostianoy A. Springer Geophysics book ser. Springer, Cham, 2020. P. 329–362. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39593-3_12. **(Scopus) «Мониторинг»**
18. Златопольский А.А., Яровой С.А. Автоматизированный расчет густоты растений по фотографиям с беспилотного летательного аппарата // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. № 7 – в печати **(Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»**
19. Плотников Д.Е., Колбудаев П.А., Жуков Б.С., Матвеев А.М., Барталев С.А., Егоров В.А., Кашицкий А.В., Прошин А.А. Публикация коллекции мультиспектральных измерений прибором КМСС-М (КА «Метеор-М» № 2) для количественной оценки характеристик земной поверхности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. № 7 – в печати **(Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»**
20. Ковалев Н.А., Лупян Е.А., Балашов И.В., Барталев С.А. Еришов Д.В., Кривошеев Н.П., Мазуров А.А. ИСДМ-Рослесхоз 15 лет эксплуатации и развития // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. № 7 – в печати **(Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»**
21. Лаврова О.Ю., Лупян Е.А., Барталев С.А., Кобец Д.А. Итоги и особенности Восемнадцатой Всероссийской открытой конференции с международным участием // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. № 7 – в печати **(Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»**
22. Лупян Е.А., Константинова А.М., Балашов И.В., Кашицкий А.В., Саворский В.П., Панова О.Ю. Разработка системы анализа состояния окружающей среды в зонах расположения крупных промышленных объектов, хвостохранилищ и отвалов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. № 7 – в печати **(Scopus Q3, РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**
23. Крамарева Л.С., Суханова В.В., Бурцев М.А., Амельченко Ю.А., Шамилова Ю.А. Сход скальных пород на реке Бурея — год спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 1. С. 271–276. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-271-276. **(Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»**
24. Плотников Д.Е., Ёлкина Е.С., Дунаева Е.А., Хвостиков С.А., Лупян Е.А., Барталев С.А. Развитие метода автоматического распознавания озимых культур на основе спутниковых данных для оценки их состояния на территории Республики Крым // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 1(21). С. 64–83. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-1-21-64-83. **(РИНЦ) РФФИ**
25. Лупян Е.А., Денисов П.В., Середа И.И., Трошко К.А., Плотников Д.Е., Толпин В.А. Наблюдение развития озимых культур в южных регионах России весной 2020 г. на основе данных дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 2. С. 285–291. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-2-285-291. **(Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»**
26. Трошко К.А., Денисов П.В., Лаврова О.Ю., Лупян Е.А., Медведев А.А. Наблюдение загрязнений реки Амбарной, возникших в результате аварии на ТЭЦ-3 города Норильска 29 мая 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 3. С. 267–274. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-267-274. **(Scopus Q3, РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**

27. Златопольский А.А. Получение ориентационных характеристик территории с помощью технологии LESSA. Методика и тестирование на цифровой модели рельефа Предбайкалья // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 4. С. 98–110. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-98-110. **(Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»**
28. Денисов П.В., Середа И.И., Трошко К.А., Лупян Е.А., Толпин В.А., Плотников Д.Е. Особенности развития озимых и яровых культур на европейской территории России в сезоне 2019–2020 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 4. С. 306–311. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-306-311. **(Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»**
29. Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю., Гордиенко О.А., Дубачева А.А., Омаров Р.С. Анализ влияния запечатанности почвенного покрова и озеленения на поле температур Волгоградской агломерации по данным MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 125–141. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-125-141. **(Scopus Q3, РИНЦ) РФФИ**
30. Шинкаренко С.С., Ткаченко Н.А., Барталев С.А., Юферев В.Г., Кулик К.Н. Пыльные бури на юге европейской части России в сентябре – октябре 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 291–296. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-291-296. **(Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»**
31. Гирина О.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Кашицкий А.В., Крамарева Л.С., Нуждаев А.А. Анализ событий эксплозивного извержения вулкана Безымянный 21 октября 2020 г. по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 297–303. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-297-303. **(Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»**
32. Середа И.И., Денисов П.В., Трошко К.А., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Толпин В.А. Уникальные условия развития озимых культур, наблюдаемые по данным спутникового мониторинга на европейской территории России в октябре 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 304–310. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-304-310. **(Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»**
33. Шинкаренко С.С., Барталев С.А. Сезонная динамика NDVI пастбищных ландшафтов Северного Прикаспия по данным MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 4. С. 179–194. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-179-194. **(Scopus Q3, РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**
34. Алексеева Т.А., Раев М.Д., Тихонов В.В., Соколова Ю.В., Шарков Е.А., Фролов С.В., Сероветников С.С. Сравнительный анализ площади морского льда в Арктике, полученной по данным спутниковой микроволновой радиометрии (алгоритм VASIA2), с ледовыми картами ААНИИ // Исследование Земли из космоса. 2020. № 6. С. 17–23. **(Scopus Q3, РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**
35. Боярский Д.А., Дмитриев В.В., Тихонов В.В. Прогнозирование лавинной опасности методами микроволновой радиометрии // Современные проблемы дистанционного зондирования. 2020. Т. 17. № 5. С. 269–278. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-269-278. **(Scopus Q3, РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**
36. Ермаков Д.М., Поляков В.Д., Полякова Е.В. Разработка нового алгоритма восстановления интегрального влагосодержания атмосферы над сушей по данным спутникового радиотеплового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 1. С. 31–41. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-31-41. **(Scopus Q3, РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**
37. Краюшкин Е.В., Назирова К.Р., Лаврова О.Ю., Князев Н.А. Субмезомасштабный циклонический вихрь за мысом Гвардейский в Юго-восточной Балтике: спутниковые наблюдения и подспутниковые измерения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 4. С. 290–299. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-290-299. **(Scopus Q3, РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»**

38. Кузьмин А.В., Ермаков Д.М., Садовский И.Н., Стерлядкин В.В., Шарков Е.А. Группировка малых космических аппаратов глобального метеорологического наблюдения на базе микроволнового радиометра-спектрометра // Исследование Земли из космоса. 2020. № 6. С. 83–91. DOI: 10.31857/S0205961420060044. (РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»
39. Кузьмин А.В., Садовский И.Н., Горшков А.А., Ермаков Д.М. Приборная платформа для надводных измерений морской поверхности и атмосферы // Исследование Земли из космоса. 2020. № 1. С. 83–91. DOI: 10.31857/S0205961420010054. (РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»
40. Митягина М.И., Лаврова О.Ю. Выход естественных углеводородов со дна Каспийского моря в районе туркменского шельфа, выявленный по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 2. С. 292–298. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-2-292-298. (Scopus Q3, РИНЦ). «Мониторинг»
41. Митягина М.И., Лаврова О.Ю. Оценка рисков загрязнения поверхности юго-восточной части Чёрного моря, обусловленного естественными выходами нефти с морского дна // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 3. С. 211–220. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-211-220. (Scopus Q3, РИНЦ). «Мониторинг»
42. Садовский И.Н., Кузьмин А.В., Козлова Т.О. «Микроволновый радиометр-спектрометр МИРС как основа космического эксперимента «Конвергенция»» // Исследование Земли из космоса. 2020. № 4. С. 86–96. DOI: 10.31857/S0205961420030057. (РИНЦ) РФФИ «Мониторинг».
43. Тихонов В.В., Хвостов И.В., Романов А.Н., Шарков Е.А., Боярский Д.А., Комарова Н.Ю., Синицкий А.И. Особенности собственного излучения Обской губы в L-диапазоне в период ледостава // Исследование Земли из космоса. 2020. № 3. С. 59-76. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0205961420030070>. (РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»
44. Ижовкина Н.И., Артеха С.Н., Ерохин Н.С., Михайловская Л.А. Электростатические возмущения неоднородной аэрозольной плазмы и устойчивость атмосферных вихрей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 1. С. 252–259. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-1-252-259> (Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»
45. Кудашев Е.Б., Яблоник Л.Р. Регистрация частотного спектра пристеночных турбулентных давлений на фоне акустического шума // Акустический журнал. 2020. Т. 66. № 6. С. 632–637. DOI: 10.31857/S032079192005007X (РИНЦ) РФФИ «Мониторинг»
46. Шалимов С.Л., Ольшанская Е.В. О возмущениях ионосферы, регистрируемых посредством GPS во время метеоцунами // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56. № 6. С. 660–668. <https://doi.org/10.31857/S0002351520060097> (РИНЦ) «Мониторинг»
47. Арумов Г.П., Бухарин А.В. Способы измерения эквивалентного сечения частиц среды путем моделирования рассеяния на специальных экранах // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. (в печати) (Scopus Q3, РИНЦ) «Мониторинг»
48. Кондратьева Т.В., Жуков Б.С., Полянский И.В. Радиометрические характеристики КМСС-М КА «Метеор-М» №2 и КМСС-2 КА «Метеор-М» № 2-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. В печати. (Scopus) «Мониторинг»