

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

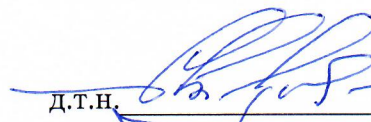
« 20 » декабря 2019 г.

Отчёт 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

« 20 » декабря 2019 г.

Москва

2019

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы
зав. отд. д.т.н.



Лупян Е.А.

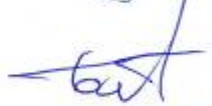
Ответственные
исполнители разделов темы:

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



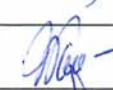
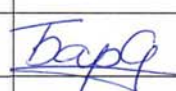
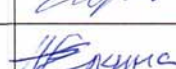
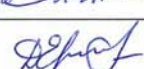
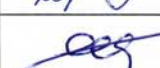
Полянский И.В.

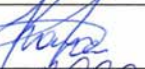
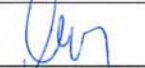
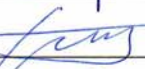
ведущий научный сотрудник,
к.ф.-м.н.

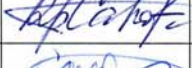
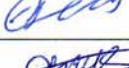
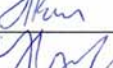
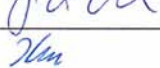
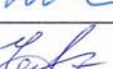
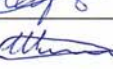


Лаврова О.Ю.

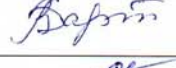
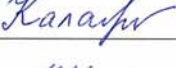
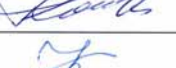
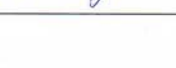
СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ отдел 56

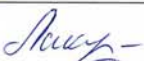
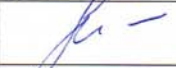
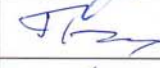
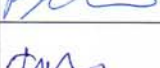
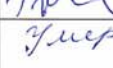
Должность, ученая степень, ученое звание		Подпись	ФИО	Номера разделов отчета, в работе по которым принимал участие исполнитель
инженер	13.12.2019		Андреев М.В.	1
ведущий инженер	13.12.2019		Артамонова Ю.В.	1
старший научный сотрудник, к.т.н.	13.12.2019		Балашов И.В.	1,3
главный научный сотрудник, д.т.н. профессор	13.12.2019		Барталев С.А.	Руководство направлением "Мониторинг-биосфера" 2,7
главный специалист, к.т.н.	13.12.2019		Барталев С.С.	2
ведущий конструктор, к.х.н.	13.12.2019		Белоконь З.С.	1
инженер	13.12.2019		Богодухов М.А.	2
инженер	13.12.2019		Бриль А.А.	1,7
старший научный сотрудник, к.т.н.	13.12.2019		Бурцев М.А.	1,3,7
ведущий электроник	13.12.2019		Васильева А.И.	1
ведущий специалист, д.т.н.	13.12.2019		Ведешин Л.А.	1,7
инженер	13.12.2019		Ворушилов И.И.	2
главный специалист	13.12.2019		Дегай А.Ю.	1
старший научный сотрудник, к.т.н.	13.12.2019		Егоров В.А.	2
инженер	13.12.2019		Ёлкина Е.С.	2,7
ведущий конструктор	13.12.2019		Ершов Д.В.	2
инженер	13.12.2019		Ефремов В.Ю.	1,3
научный сотрудник, к.ф.-м.н.	13.12.2019		Жарко В.О.	2,7
научный сотрудник, к.т.н.	13.12.2019		Златопольский А.А.	1

инженер	13.12.2019		Иванова А.А.	2
научный сотрудник, к.т.н.	13.12.2019		Капницкий А.В.	1,3,7
младший научный сотрудник, к.т.н.	13.12.2019		Кобец Д.А.	1,7
главный специалист, к.ф.-м.н.	13.12.2019		Козочкина А.А.	1,7
младший научный сотрудник	13.12.2019		Колбудаев П.А.	2
инженер	13.12.2019		Константинова А.М.	1,3,7
старший научный сотрудник, к.ф.-м.н.	13.12.2019		Крашенинникова Ю.С.	1,7
Ведущий конструктор, к.г.н.	13.12.2019		Ладонина Н.Н.	2,7
заведующий отделом, д.т.н.	13.12.2019		Лупян Е.А.	Общее руководство темой Руководство направлением "Мониторинг-Технологии" 1,2,3,7
ведущий научный сотрудник, к.ф.-м.н.	13.12.2019		Мазуров А.А.	1
ведущий конструктор.	13.12.2019		Марченков В.В.	1
младший научный сотрудник	13.12.2019		Матвеев А.М.	1
младший научный сотрудник	13.12.2019		Миклашевич Т.С.	2
ведущий инженер	13.12.2019		Нестеренко А.А.	1
ведущий конструктор	13.12.2019		Панова О.Ю.	1,2
старший научный сотрудник, к.ф.-м.н.	13.12.2019		Плотников Д.Е.	2
старший научный сотрудник, к.т.н.	13.12.2019		Прошин А.А.	1,3
техник	13.12.2019		Пчеловодов Д.Л.	1
заведующий лабораторией, к.ф.-м.н.	13.12.2019		Пырков В.Н.	1

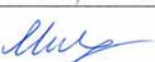
ведущий инженер	13.12.2019		Радченко М.В.	1
главный специалист	13.12.2019		Романов А.А.	1
ведущий инженер	13.12.2019		Романова Л.В.	1
инженер	13.12.2019		Руткевич Б.П.	1
старший научный сотрудник, д.т.н.	13.12.2019		Руткевич П.Б.	1,5
главный специалист	13.12.2019		Саворский В.П.	1
инженер	13.12.2019		Сайгин И.А.	2
ведущий специалист	13.12.2019		Самиуллина Г.С.	1,7
инженер	13.12.2019		Самофал Е.В.	2
инженер	13.12.2019		Сенько К.С.	1
главный конструктор проекта	13.12.2019		Скачков В.А.	1
главный специалист	13.12.2019		Смирнов Н.К.	1
инженер	13.12.2019		Солодилов А.В.	1
научный сотрудник, к.н.	13.12.2019		Стыценко Ф.В.	2
младший научный сотрудник	13.12.2019		Сычугов И.Г.	1
старший научный сотрудник, к.т.н.	13.12.2019		Толпин В.А.	1
старший научный сотрудник, к.т.н.	13.12.2019		Уваров И.А.	1,3
научный сотрудник, к.н.	13.12.2019		Хвостиков С.А.	2
младший научный сотрудник	13.12.2019		Ховратович Т.С.	2
инженер	13.12.2019		Черных В.Н.	1
старший научный сотрудник, к.г.н.	13.12.2019		Шабанов Н.В.	2
Старший лаборант	13.12.2019		Юдин Д.А.	1,7

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ отдел 55

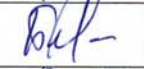
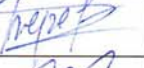
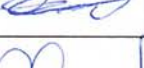
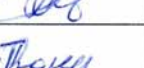
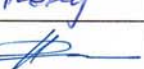
Должность, ученая степень, ученое звание	Дата	Подпись	ФИО	Номера разделов отчета в работе, по которым принимал участие исполнитель
электроник	13.12.2019		Антонов В.С.	4
ведущий научный сотрудник, к.н.	13.12.2019		Арумов Г.П.	5
ведущий электроник	13.12.2019		Беляков Г.И.	4
научный сотрудник	13.12.2019		Бочарова Т.Ю.	4,7
старший научный сотрудник, к.н.	13.12.2019		Боярский Д.А.	3
старший научный сотрудник, к.н.	13.12.2019		Бухарин А.В.	5
старший научный сотрудник, к.н.	13.12.2019		Ванина-Дарт Л.Б.	5
ведущий программист	13.12.2019		Втюрин С.А.	5
ведущий инженер	13.12.2019		Городецкий А.К.	5
ведущий инженер	13.12.2019		Горшков А.А.	4
ведущий инженер	13.12.2019		Зверева О.О.	3
инженер	13.12.2019		Калашникова Н.А.	4
научный сотрудник, к.н.	13.12.2019		Князев Н.А.	5
главный специалист	13.12.2019		Комарова Н.Ю.	3,7
ведущий инженер	13.12.2019		Кондакова И.С.	7
младший научный сотрудник	13.12.2019		Краюшкин Е.В.	4
ведущий инженер	13.12.2019		Кузнецова М.А.	5
ведущий научный сотрудник, к.н.	13.12.2019		Кузьмин А.В.	4
ведущий научный сотрудник, к.н.	13.12.2019		Лаврова О.Ю.	4,7

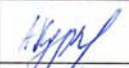
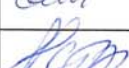
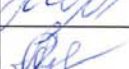
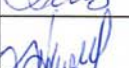
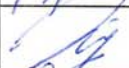
ведущий инженер	13.12.2019		Ликучева Т.В.	7
научный сотрудник	13.12.2019		Ляш А.Н.	5
старший научный сотрудник, к.н.	13.12.2019		Митягина М.И.	4,7
младший научный сотрудник	13.12.2019		Пашинов Е.В.	4
главный специалист	13.12.2019		Покровская И.В.	3
ведущий научный сотрудник, к.н.	13.12.2019		Раев М.Д.	4
главный специалист	13.12.2019		Русаков М.Ю.	4
старший научный сотрудник, к.н.	13.12.2019		Садовский И.Н.	4
младший научный сотрудник к.н.	13.12.2019		Сазонов Д.С.	4
ведущий математик	13.12.2019		Селунский А.Б.	4
научный сотрудник, к.н.	13.12.2019		Скворцов Е.И.	4
старший научный сотрудник д.н.	13.12.2019		Стерлядкин В.В.	4
научный сотрудник, к.н.	13.12.2019		Строчков А.Я.	4,7
ведущий инженер	13.12.2019		Сячинов В.И.	5
старший научный сотрудник, к.н.	13.12.2019		Тихонов В.В.	3
ведущий математик	13.12.2019		Тюрин А.В.	5
главный конструктор проекта	13.12.2019		Халин Ю.Б.	4
зав отдела, д.н.	13.12.2019		Шарков Е.А.	3,4

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.	13.12.2019		Артеха С.Н.	5.2.2., 5.2.5.
ведущий научный сотрудник, д.н.	13.12.2019		Астафьева Н.М.	5.2.3.
ведущий инженер	13.12.2019		Белян А.В.	5.2.5.
старший научный сотрудник, к.н.	13.12.2019		Гусев А.А.	5.4.
ведущий инженер	13.12.2019		Давиденко Д.В.	5.1.2.
зав отдела, д.н.	13.12.2019		Ерохин Н.С.	5.2.2., 5.2.5.
главный научный сотрудник дн	13.12.2019		Захаров В.Е.	5.2.3.
научный сотрудник, к.н.	13.12.2019		Зольникова Н.Н.	5.2.5.
главный специалист	13.12.2019		Каленова Н.И.	5.2.1.
ведущий научный сотрудник, д.н.	13.12.2019		Кудашев Е.Б.	5.2.1.
старший научный сотрудник, к.н.	13.12.2019		Левина Г.В.	5.2.4.
младший научный сотрудник, к.н.	13.12.2019		Михайловская Л.А.	5.2.2.
ведущий научный сотрудник, д.н.	13.12.2019		Онищенко О.Г.	5.2.3.
старший научный сотрудник	13.12.2019		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	13.12.2019		Абрамов Н.Ф.	6
главный научный сотрудник, д.т.н.	13.12.2019		Аванесов Г.А.	6
младший научный сотрудник	13.12.2019		Белинская Е.В.	6
инженер	13.12.2019		Беличенко М.Л.	6
ведущий конструктор	13.12.2019		Белов В.Ю.	6
инженер	13.12.2019		Бережков А.В.	6
зав отдела, к.т.н.	13.12.2019		Бессонов Р.В.	6
научный сотрудник, к.т.н.	13.12.2019		Брысин Н.Н.	6
программист	13.12.2019		Ваваев М.В.	6
старший научный сотрудник, к.т.н.	13.12.2019		Воронков С.В.	6
ведущий конструктор	13.12.2019		Дроздов А.А.	6
инженер	13.12.2019		Дятлов С.А.	6
старший научный сотрудник, к.ф.-м.н.	13.12.2019		Жуков Б.С.	6
инженер	13.12.2019		Караваева Е.С.	6
инженер	13.12.2019		Кобелева А.А.	6
ведущий инженер	13.12.2019		Коломеец Е.В.	6
старший научный сотрудник, к.ф.-м.н.	13.12.2019		Кондратьева Т.В.	6
инженер	13.12.2019		Корольков С.А.	6
ведущий инженер	13.12.2019		Краснопевцева Е.Б.	6
главный специалист	13.12.2019		Крупин А.А.	6
главный конструктор проекта	13.12.2019		Куделин М.И.	6

научный сотрудник	13.12.2019		Куркина А.Н.	6
конструктор	13.12.2019		Курячая А.А.	6
программист	13.12.2019		Лискив А.С.	6
ведущий конструктор	13.12.2019		Лукин А.Н.	6
главный конструктор проекта	13.12.2019		Муравьев В.М.	6
старший научный сотрудник, к.т.н.	13.12.2019		Никитин А.В.	6
станочник широкого профиля 8 разряда	13.12.2019		Панферов В.И.	6
главный конструктор проекта	13.12.2019		Полянский И.В.	6
младший научный сотрудник	13.12.2019		Прохорова С.А.	6
младший научный сотрудник	13.12.2019		Сметанин П.С.	6
ведущий конструктор	13.12.2019		Соловьева Е.А.	6
научный сотрудник	13.12.2019		Строилов Н.А.	6
конструктор	13.12.2019		Суворова Л.М.	6
инженер	13.12.2019		Суворова Т.А.	6
ведущий конструктор	13.12.2019		Суханова Э.А.	6
инженер	13.12.2019		Теремок Ю.П.	6
конструктор	13.12.2019		Устинов В.Д.	6
ведущий научный сотрудник, к.ф.-м.н.	13.12.2019		Форш А.А.	6
программист	13.12.2019		Хорохорин Д.И.	6
ведущий программист, к.т.н.	13.12.2019		Шамис В.А.	6
конструктор	13.12.2019		Ширшова Н.Г.	6
младший научный сотрудник	13.12.2019		Эльяшев Я.Д.	6
конструктор	13.12.2019		Ядвичук Е.В.	6

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ отдел Ц90

Должность, ученая степень, ученое звание	Дата	Подпись	ФИО	Номера разделов отчета в работе по которым принимал участие исполнитель
старший лаборант	13.12.2019		Стариченко Е.Д.	7
специалист	13.12.2019		Щукина А.В.	7

РЕФЕРАТ

Отчёт 166 стр., 65 рис., 194 источника.

НАСТОЯЩИЙ ОТЧЁТ ПОСВЯЩЁН ОПИСАНИЮ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТ, ПОЛУЧЕННЫХ В 2019 ГОДУ В РАМКАХ ТЕМЫ «МОНИТОРИНГ» (№ 0028-2019-0015), ВЫПОЛНЯЮЩЕЙСЯ В РАМКАХ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАДАНИЯ ИНСТИТУТОМ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. В ОТЧЁТЕ ПРИВОДЯТСЯ ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ, ЗАПЛАНИРОВАННЫХ НА 2019 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 12	
СОДЕРЖАНИЕ	13
ВВЕДЕНИЕ	18
РАЗДЕЛ 1 МОНИТОРИНГ-ТЕХНОЛОГИИ	20
Введение	20
1.1. Разработка подходов и развитие методов эффективной распределённой обработки данных ДЗЗ	21
1.1.1. Разработка технологии автоматической кросс-калибровки спутниковых данных методом анализа гистограмм	21
1.1.2 Разработка технологии получения, обработки и предоставления данных спутников серии <i>Sentinel</i> в центре коллективного пользования ИКИ-Мониторинг.....	24
1.1.3 Развитие методов распределённой работы с долговременными архивами метеоинформации ЦКП «ИКИ-Мониторинг»	25
1.1.4 Анализа возможностей технологии <i>Docker</i> для построения элементов систем спутникового мониторинга	27
1.1.5 Исследование возможности использования методов машинного обучения для автоматической классификации треков спутникового позиционирования на примере системы мониторинга рыболовства	28
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	29
1.2.1 Разработка концепции системы объективного дистанционного мониторинга объектов и ресурсов для обеспечения информационной связанности территории России	29
1.2.2 Развитие методов и инструментов распределённой работы с данными в интересах объединённой системы работы с данными НИЦ «Планета».....	34
1.2.3 Развитие информационной системы <i>See The Sea</i>	36
1.2.4 Развитие информационной системы « <i>Вега-Агрометеоролог</i> »	38
1.2.5 Разработка информационной системы дистанционного мониторинга бассейна реки Амурь и её притоков	39
1.2.6 Развитие подходов к оперативному представлению данных в распределённые системы дистанционного мониторинга.....	42
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	42
1.3.1 Текущие задачи ЦКП и их актуальность	42
1.3.2 Структура и технические возможности ЦКП и их развитие в 2019 году	43
1.3.3 Архивы спутниковых данных и их наполнение в 2019 году	45
1.3.4 Основные информационные продукты, предоставляемые ЦКП	48
1.3.5 УНУ « <i>Вега-Science</i> » и развитие ее в 2019 году	49
1.3.6 Научные и прикладные информационные системы, использовавшие возможности ЦКП в 2019 году.....	50
1.3.7 Пользователи ЦКП.....	52
1.3.8 Научные проекты, выполняемые с использованием возможностей ЦКП «ИКИ-Мониторинг» в 2019 году	53

1.3.9 Основные публикации, при подготовке которых были использованы возможности ЦКП.....	55
Заключение	55
РАЗДЕЛ 2 МОНИТОРИНГ-БИОСФЕРА	56
Введение	56
2.1 Развитие научных основ и автоматизированных методов обработки временных рядов мультисенсорных данных дистанционного зондирования для обеспечения долговременного мониторинга наземных компонент биосферы .57	
2.2 Развитие методов обработки данных ДЗЗ, направленных на получение устойчивых нормализованных наборов и рядов данных для оценки различных характеристик почвенно-растительного покрова	59
2.3 Развитие методов дистанционного мониторинга динамики наземных экосистем с использованием физических и эколого-математических моделей	64
2.4 Формирование и анализ многолетних рядов характеристик наземных компонент биосферы для исследования глобальных изменений, решения задач рационального природопользования и устойчивого развития.....	68
Заключение	71
РАЗДЕЛ 3 МОНИТОРИНГ-КЛИМАТ	72
Введение	72
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	72
3.1.1 Разработка научных основ и методов анализа глобальных спутниковых наблюдений для объективной оценки изменений окружающей среды и климата72	
3.1.2 Применение электродинамической модели радиоизлучения природных слоистых сред для анализа пространственно-временных характеристик морского льда Арктики и ледяного покрова крупных пресноводных озёр по данным многочастотной микроволновой спутниковой радиометрии для решения задач изучения изменчивости климатических параметров планеты	75
3.1.3 Исследование фенологии ледяного покрова крупных эстуариев сибирских рек дистанционными радиотепловыми методами	81
3.2 Развитие методов изучения крупномасштабных опасных природных явлений, в том числе вулканической активности и катастрофических природных пожаров.....	86
3.2.1 Совершенствование системы VolSatView	86
3.2.1.1. Развитие информационных продуктов и инструментов анализа временных рядов	86
3.2.1.2 Развитие методов распределённого анализа динамически меняющихся спутниковых данных для решения задач мониторинга природных пожаров87	
3.2.2 Использование системы VolSatView для анализа извержений вулканов Райкоке (Курилы) и Безымянный в 2019 г.....	88
3.2.2.1. Анализ извержения вулкана Райкоке (Курилы) в 2019 году	88
3.2.2.1. Анализ извержения вулкана Безымянный в 2019 г.	91
3.2.3 Анализ катастрофического обрушения сопки на левом берегу реки Бурия.....	91
Заключение	93
РАЗДЕЛ 4 МОНИТОРИНГ-ОКЕАН	94
Введение	94

4.1 Проведение исследований нелинейной динамики спектральных компонент морского волнения методами пассивной и активной спутниковой радиополяриметрии для решения задач крупномасштабного экологического мониторинга морских акваторий	94
4.2 Разработка научных основ совместного использования новейших микроволновых и оптических спутниковых сенсоров для оценки экологического состояния морских акваторий, включая арктические регионы	98
4.2.1 <i>Выявление аномального «зимнего» цветения кокколитофорид в восточной части Чёрного моря</i>	99
4.2.2 <i>Выявление районов антропогенных загрязнений в северной части Красного моря</i>	100
4.2.3 <i>Оценка состояния морской поверхности в Печорском море и в проливе Карские ворота</i>	102
4.3 Развитие методов количественной оценки параметров гидродинамических процессов в верхнем слое океана и в приземном слое атмосферы на основе многолетних рядов данных ДЗЗ	103
4.3.1 <i>Апробация методов количественной оценки параметров прибрежных течений с помощью подспутниковых дрейфтерных экспериментов и численного моделирования</i>	104
4.3.2 <i>Апробация методов количественной оценки параметров вихревых структур в юго-восточной части Балтийского моря на основе многолетних данных дистанционного зондирования из космоса и результатов численного моделирования</i>	105
4.3.3 <i>Выявления влияния вихревых структур на распространение пленок естественных нефтепроявлений в Чёрном море на основе анализа многолетних данных дистанционного зондирования из космоса</i>	107
Заключение	109
РАЗДЕЛ 5 МОНИТОРИНГ-АТМОСФЕРА	110
Введение	110
5.1 Разработка научных основ, методов и технологий обработки временных серий спутниковых многосенсорных наблюдений для решения комплекса задач исследований и мониторинга атмосферы.	110
5.1.1 <i>Применение углового сканирования и метода нулевой воздушной массы в задачах определения температуры поверхности и оптической толщи атмосферы в ИК-диапазоне спектра</i>	110
5.1.2 <i>Инструментальные наблюдения радиозоха в фазе роста суббурь на авроральных широтах</i>	111
5.2 Развитие моделей и методов анализа данных для мониторинга и прогноза состояния атмосферы, включая выявление закономерностей формирования и динамики мощных вихревых структур с учетом ветровых потоков, фазовых переходов влаги, атмосферного электричества, вариаций космических лучей в целях мониторинга и прогноза атмосферных процессов.	112
5.2.1 <i>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 учётом ветров</i>	112
5.2.2 <i>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</i>	112

5.2.3 Исследование структуры и динамики концентрированных мезомасштабных вихрей в атмосферах планет	113
5.2.4 От теории к практике: применение концепции турбулентного вихревого динамо для ранней диагностики тропического циклогенеза и анализа аномально-интенсивных атмосферных конвективных явлений на территории России, наблюдающихся в последние годы	114
5.2.5 Развитие методик анализа характеристик электрической турбулентности в грозовой облачности для выявления её роли в динамике долгоживущих спиральных вихрей	115
5.3 Разработка новых методов обработки данных дистанционных наблюдений в ИК и видимом диапазоне и лидарных наблюдений для определения характеристик облачности	116
5.3.1 Оперативная автоматическая оценка облачной обстановки для управления космической съёмкой в целях повышения её эффективности	116
5.3.2 Выбор оптимальных характеристик миниатюрного лидара в задаче проведения полного (минимального) набора калибровок для интерпретации сигнала обратного рассеяния	117
5.3.3 Алгоритмы управления и взаимодействия автоматической системы оценки облачности на борту космического аппарата	117
5.4 Исследование вариаций рентгеновской атмосферной эмиссии по данным спутниковых экспериментов.	118
5.5 Развитие методик решения задач восстановления профилей влажности и температуры тропосферы по микроволновым радиометрическим измерениям из космоса с использованием нейронных сетей	118
Заключение	121
РАЗДЕЛ 6 МОНИТОРИНГ-ЭФФЕКТ	122
Введение	122
6.1. Развитие методов ДЗЗ аппаратурой с пространственный спектральным расщеплением светового пучка на основе мультисенсорных данных космического комплекса «Метеор-М» № 3	122
6.2. Разработка методики и проведение полётной радиометрической калибровки приборов КМСС-М и КМСС-2	123
6.3 Разработка методов и алгоритмов автоматической полётной геометрической калибровки КМСС-М и КМСС-2, в том числе создание банка контрольных точек	126
Заключение	128
РАЗДЕЛ 7 МОНИТОРИНГ-ИНФРАСТРУКТУРА	129
Введение	129
7.1. Ежегодное проведение научной конференций «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса»	129
7.2 Проведение научных семинаров и школ-конференций по фундаментальным проблемам ДЗЗ из космоса	131
7.2.1 Проведение ежегодной Всероссийской научной школы-конференции по фундаментальным проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса	131
7.2.2 Проведение международной Школы-семинара «Спутниковые методы и системы исследования Земли»	132
7.3 Выпуск журнала «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса»	132
7.4 Подготовка и повышение квалификации кадров на базе Научно-образовательного центра ИКИ РАН. В том числе:	132

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».....	132
7.4.2 Проведение конкурсов работ молодых учёных, работающих в области дистанционного мониторинга Земли, природных и антропогенных.....	133
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»	134
Заключение	135
РАЗДЕЛ 8 ВАЖНЕЙШИЕ ЗАКОНЧЕННЫЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ И ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИЕ РАБОТЫ, ВЫПОЛНЕННЫЕ В 2019 г. И ГОТОВЫЕ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ.....	136
8.1 Создание и внедрение «Единого геоинформационного хранилища пространственных данных» ОАО «РЖД».....	136
8.2 Развитие методов ДЗЗ аппаратурой с пространственным спектральным расщеплением светового пучка на основе мультисенсорных данных космического комплекса «Метеор-ЗМ».....	137
РАЗДЕЛ 9 ГРАНТЫ ПО НАПРАВЛЕНИЮ МОНИТОРИНГ	137
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	140
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	142

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 3 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 научных основ и совершенствование методов спутникового мониторинга наземных экосистем для исследований изменений биосферы, решения задач рационального природопользования и охраны окружающей среды. Исследование глобальных процессов, происходящих в биосфере.
- **«Мониторинг-климат»** — Разработка и совершенствование научных основ и методов спутникового мониторинга окружающей среды и глобального климата и региональных климатических подсистем. Исследование глобальных процессов, происходящих в системе «океан – атмосфера».
- **«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»** Исследование атмосферы, включая ионосферу и магнитосферу Земли. 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, образовательная и издательская деятельность.

Настоящий отчёт посвящён описанию основных результатов работ, полученных в рамках данных направлений в 2019 году, которые выполнялись в соответствии 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 [3, 23, 26, 27, 30, 32-36, 38, 40, 42, 44, 45, 71, 73, 79-83, 85-95, 98, 99, 106-116, 118-121, 128, 131, 132, 150-153, 155, 157, 158, 160-166, 169, 173].

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

1.1.1. Разработка технологии автоматической кросс-калибровки спутниковых данных методом анализа гистограмм

На базе возможностей центра коллективного пользования (ЦКП) «ИКИ-Мониторинг» была разработана технология кросс-калибровки в автоматическом режиме произвольных спутниковых данных, имеющихся в архивах центра, по эталонным спутниковым данным. Метод основан на сравнении гистограмм серий одновременных пар спутниковых изображений, где одно является эталонным, а другое оценивается. В рамках проводимых ранее работ по кросс-калибровке было доказано, что такой метод корректен и применим. Теперь же на его основе была создана технология, позволяющая организовать в полностью автоматическом режиме сбор данных (как калибруемых, так и эталонных) из различных территориально распределённых источников и их последующую кросс-калибровку. Далее в данном параграфе описана актуальность проведения подобных работ, кратко описана суть метода, основные элементы разработанной технологии и примеры некоторых результатов применения технологии.

Необходимость проведения подобных работ объясняется тем, что качество калибровки данных спутниковых приборов дистанционного зондирования Земли определяет точность измерений физических характеристик снимаемых объектов, таких как КСЯ и радиояркостная температура. Точность радиометрических измерений в свою очередь позволяет разрабатывать и, что более важно, устойчиво применять стандартные алгоритмы обработки данных для получения различных продуктов ДЗЗ. Поэтому полётная калибровка приборов является одним из важных элементов функционирования космических систем ДЗЗ. К сожалению, часть современных приборов на российских и зарубежных космических аппаратах не имеет качественной штатной калибровочной схемы на борту, поэтому применяются различные методики полётной калибровки, в том числе и кросс-калибровка по данным совместных измерений с различных космических аппаратов. Имея данные со спутников, точность которых можно считать достаточно высокой и далее называемых эталонными, можно попытаться провести кросс-калибровку, то есть откалибровать «некачественные» данные по значениям эталона. Такими эталонными могут быть, например, данные прибора MODIS спутников Aqua и Terra, прибора MSI спутника Sentinel-2, данные прибора AHI спутника Himawari-8 и другие.

В основе технологии лежит метод оценки измерительных характеристик (калибровочной кривой) прибора путем сравнения гистограмм изображений одних и тех же районов на поверхности Земли с различных аппаратов в одних условиях (время и угол съёмки). Суть предлагаемого метода сводится к приведению гистограммы яркостей изображения, снятого одним прибором к гистограмме изображения того же точно объекта (территории), полученного другим прибором (эталонном). Таблица преобразования яркости одного изображения в яркость на другом изображении (далее look-up-table или LUT) строится путём сопоставления частичных интегралов площадей гистограмм изображений, приведённых к одинаковому пространственному разрешению. Если сравниваемые приборы хорошо откалиброваны, изображения нормализованы в одинаковый диапазон яркостей (для каждого прибора), то такие таблицы LUT будут одинаковые для всех исследуемых пар одновременных снимков. В частности, если калибровки данных линейные (что обычно принято для хранящихся в архивах данных), то и построенные LUT будут линейными функциями. Для наглядной демонстрации этого факта на рисунке 1.1.1.1 приведены сделанные за отдельные случайно выбранные даты 2018-2019 годов по разработанной технологии таблицы преобразования данных в канале 11 мкм,

получаемых с прибора MODIS на спутниках Aqua/Terra, на основе эталонных данных близкого ему канала 11 мкм прибора АНІ геостационарного спутника Himawari-8.

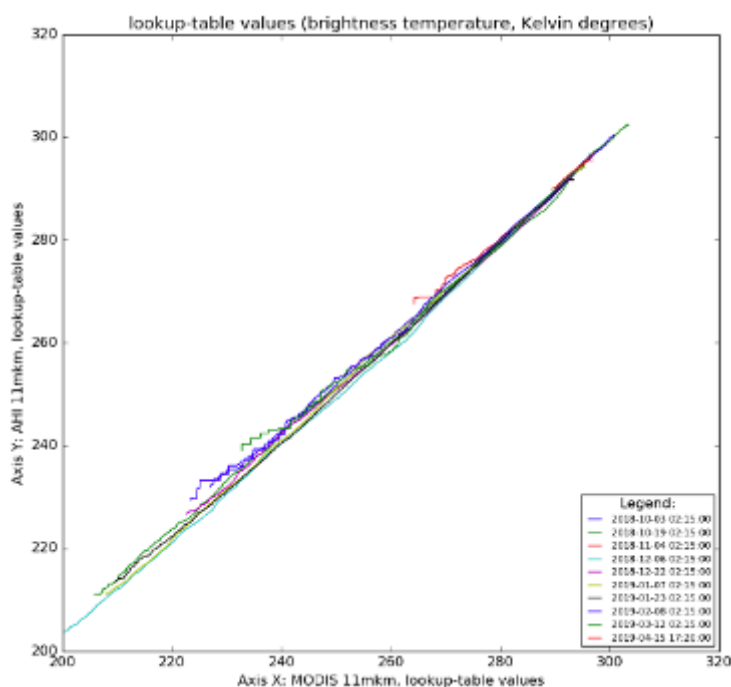


Рисунок 1.1.1.1 — LUT за отдельные случайно выбранные даты 2018-2019 годов данных 11 мкм MODIS (Aqua / Terra) на основе 11 мкм АНІ (Himawari-8)

Созданная на основе описанного метода технология кросс-калибровки включает следующие этапы обработки:

- С учётом модели движения космических аппаратов поиск в архиве всех пригодных для проведения обработки пар снимков (эталонный и калибруемый), имеющих близкие углы и время съёмки одних и тех же участков земной поверхности.
- Извлечение каждой пары из архива, при этом автоматически осуществляется запрос данных блоками только по полученной на предыдущем этапе необходимой области. Также на этом этапе происходит выборка необходимых спектральных каналов. Все операции на этом этапе выполняются «по месту хранения» данных, с использованием тех ресурсов, где данные физически находятся.
- На сервере, выделенном для обработки, для каждой пары происходит приведение данных к одному размеру и проекции.
- Создание таблицы преобразования яркостей (далее LUT) методом анализа гистограмм для каждой пары, формирование архива LUT.
-

Полученные таблицы преобразования яркостей могут в дальнейшем как использоваться для оценки стабильности работы аппаратуры, так и применяться при предоставлении данных из архивов ЦКП «ИКИ-Мониторинг».

Приведём примеры кросс-калибровки по разработанной технологии данных в канале 11 мкм, получаемых с прибора MSU-MR на спутнике Meteor-M2, на основе эталонных данных близкого ему канала 11 мкм прибора АНІ геостационарного спутника Himawari-8. На рисунке 1.1.1.2 приведены графики таблиц преобразования за один день (16 октября 2019 года и 1 ноября 2019 года соответственно), на рисунке 1.1.1.3 такая же таблица преобразования за весь ноябрь 2019 года. Различное количество данных в разные дни обусловлено особенностями их поступления, а отдельные явные выбросы связаны со

сбоями в исходных калибруемых данных со спутника «Метеор-М» № 2. Но даже при фильтрации этих ситуаций явно прослеживается нестабильность калибровки данных канала 11 мкм прибора MSU-MR на спутнике «Метеор-М» № 2.

Отметим, что использованные в приведённом примере данные спутника Himawari-8 предоставляются Дальневосточным центром НИЦ «Планета» и по разработанной технологии получаются и обрабатываются в автоматическом режиме с использованием ресурсов самого центра.

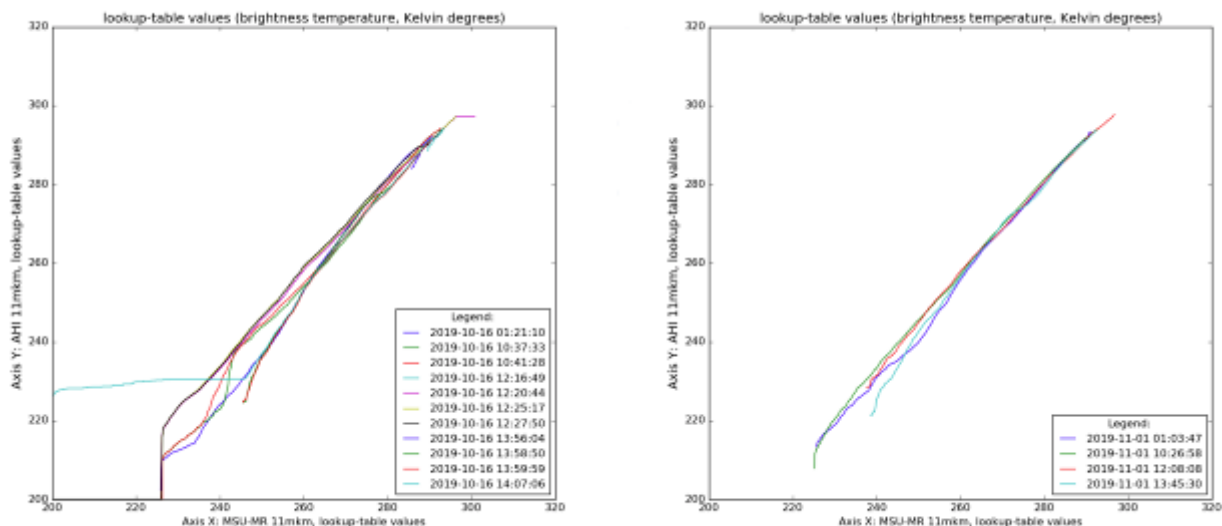


Рисунок 1.1.1.2 — LUT за 16 октября 2019 года и 1 ноября 2019 года данных 11 мкм MSU-MR («Метеор-М» № 2) на основе 11 мкм AHI (Himawari-8)

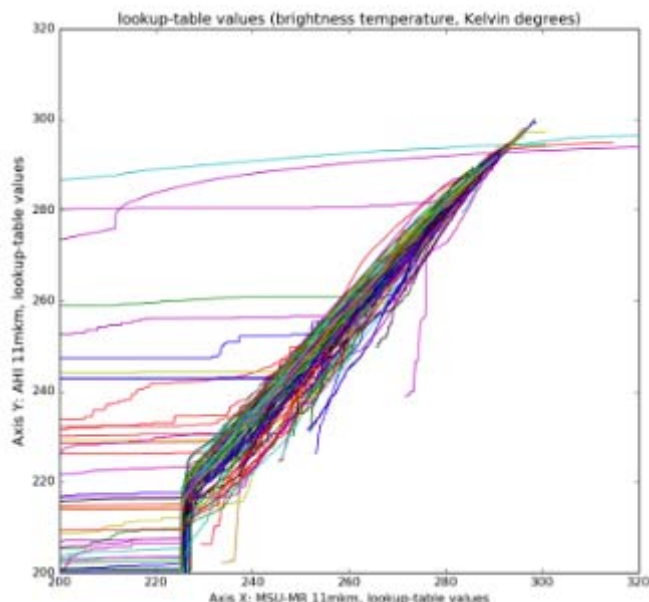


Рисунок 1.1.1.3— LUT за ноябрь 2019 года данных 11 мкм MSU-MR («Метеор-М» № 2) на основе 11 мкм AHI (Himawari-8)

В качестве выводов отметим следующее. В результате проведения кросс-калибровки различных данных по разработанной технологии стало ясно, что метод очень чувствителен к сбоям и различным артефактам в исходных данных, поэтому необходим дополнительный этап фильтрации и/или интерполяции полученных таблиц преобразований. В остальном на основе созданной технологии можно как оценивать

качество и применимость различных данных, так и при необходимости проводить достаточно простую и «дешёвую» калибровку спутниковых данных.

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

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 данных реализовано в полностью автоматическом режиме из следующих центров распространения: Sentinel Scientific Data Hub (<https://scihub.copernicus.eu/>), а для спутников Sentinel-2A, Sentinel-2B также 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 1.1.2.1.

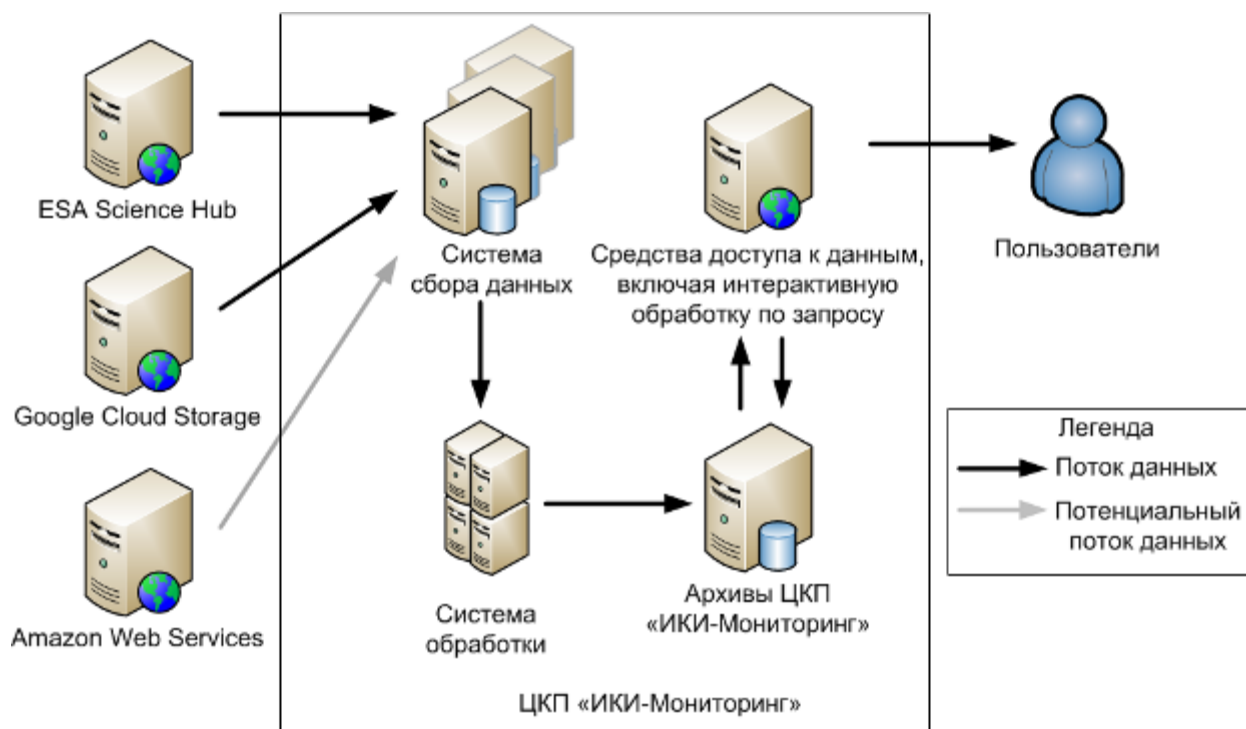


Рисунок 1.1.2.1 — Общая схема получения данных КА Sentinel из различных центров

Для решения задач мониторинга атмосферы Земли и изменений климата в ИКИ РАН в 2019 году были проведены работы по адаптации и модернизации существующих технологий получения, обработки и предоставления данных для работы с информацией спутника Sentinel-5P (Precursor). Данный спутник оснащён прибором TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument), который представляет собой спектрометр, измеряющий излучение в ультрафиолетовом, видимом, ближнем и коротковолновом ИК-диапазонах для мониторинга содержания озона, диоксида серы, монооксида углерода, аэрозоля, метана, формальдегида и оксида азота в атмосфере. Прибор имеет полосу

сканирования шириной 2670 км с пространственным разрешением 7 км. На данный момент реализовано автоматическое получение, обработка и усвоение продуктов по общему содержанию озона, аэрозоля, диоксида серы и монооксида углерода в атмосфере.

Доступ к информации спутников Sentinel реализуется на базе использования спутникового сервиса «ВЕГА-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.

Для анализа данных спутников Sentinel также доступен развитый функционал по интерактивной обработке и анализу данных. Среди возможностей анализа данных спутников Sentinel, предоставляемых ЦКП, можно указать следующие:

- инструменты обработки данных, такие как расчёт спектральных индексов и алгебра изображений, обучаемая и необучаемая классификация спутниковых данных, сегментация, цветовая коррекция и синтез различных данных, включая разновременные;
- инструменты для работы с рядами данных, например получение спектральных профилей в выбранных точках;
- специализированные инструменты для анализа и мониторинга различных объектов, например, выявление лесных вырубок на основе на использовании временной серии снимков, оконтуривание лесных гарей, мониторинг состояния сельскохозяйственных полей (оценка проективного покрытия леса).

Отдельно стоит отметить большую гибкость этих инструментов: возможность совместной одновременной обработки разных типов данных, например Landsat и Sentinel-2, разновременных сцен, любых выбранных пользователем каналов и т.д.

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.

1.1.3 Развитие методов распределённой работы с долговременными архивами метеоинформации ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

В информационных системах спутникового мониторинга требуется совместный анализ разнородных данных, включая метеоданные. Для решения этих задач в ИКИ РАН была разработана технология автоматического получения, хранения, представления и анализа метеоданных. Архив метеоданных в ИКИ РАН поддерживается в рамках Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг». Предусмотрено регулярное обновление архива из разных источников, в первую очередь, данными, полученными моделью NSCER. Данные доступны для визуализации на карте различными способами. Построение графиков обеспечивает анализ временных рядов в сопоставлении с другими величинами, такими как вегетационные индексы. Разработанные технологии применены в ряде специализированных информационных систем спутникового мониторинга природных и антропогенных объектов.

В 2019 году в архивы ЦКП «ИКИ-Мониторинг» было организовано регулярное поступление прогнозов погоды из набора данных ds084.1 Национального центра

атмосферных исследований США (NCAR). Это данные, полученные с помощью модели Climate Forecast System Version 2 (CFSv2) NCEP (<https://www.ncep.noaa.gov/>). Пространственное разрешение данных составляет 0,25°, а частота обновлений — 3 часа. Обрабатывается более двух десятков показателей состояния атмосферы у поверхности Земли, а также вертикальные профили температуры на различных изобарических поверхностях.

Производные показатели являются результатом статистической обработки климатических данных и предназначены для выявления погодных аномалий на тех или иных природных или антропогенных объектах. В 2019 году была реализована возможность к любому из основных показателей, таких как температура или количество осадков, применять такие преобразования, как определение среднего многолетнего за данный день года, определение среднемесячного многолетнего и отклонения текущего от среднего многолетнего, накопление с начала года, региональная норма, сглаживание в скользящем окне и др.

Для отображения метеоданных в картографическом интерфейсе могут использоваться различные способы. В зависимости от характера данных применяются изолинии, картограммы и значки. Изолинии могут быть использованы для данных любой пространственной локализации, но лучше всего подходят для данных на основе регулярной сетки. При анализе данных, локализованных на метеостанциях, целесообразно применение значков. В этом случае в месте расположения метеостанции изображаются прямоугольные значки, характеризующиеся цветом и числовым значением отображаемой величины. Одновременный анализ нескольких величин возможен путём нанесения в месте расположения метеостанции сложных значков, где числовые значения, снабжённые цветовой окраской, расположены в столбик. Данные могут быть визуализированы в разрезе единиц территориального деления. В этом случае используется способ картограмм. Показатели могут быть представлены как в абсолютном, так и в относительном выражении.

Анализ временной динамики метеорологических показателей возможен для объектов разного типа: отдельные точки, объекты наблюдения, метеостанции, районы. Специальный пользовательский интерфейс представляет данные в форме графиков (Рисунок 1.1.3.1). Это делает доступным совместный анализ динамики различных метеорологических показателей и динамики других величин, таких как вегетационные индексы, полученные по временной серии спутниковых наблюдений. Доступен сравнительный анализ внутрисезонной динамики разных лет, а также сопоставление климатических характеристик разных объектов.

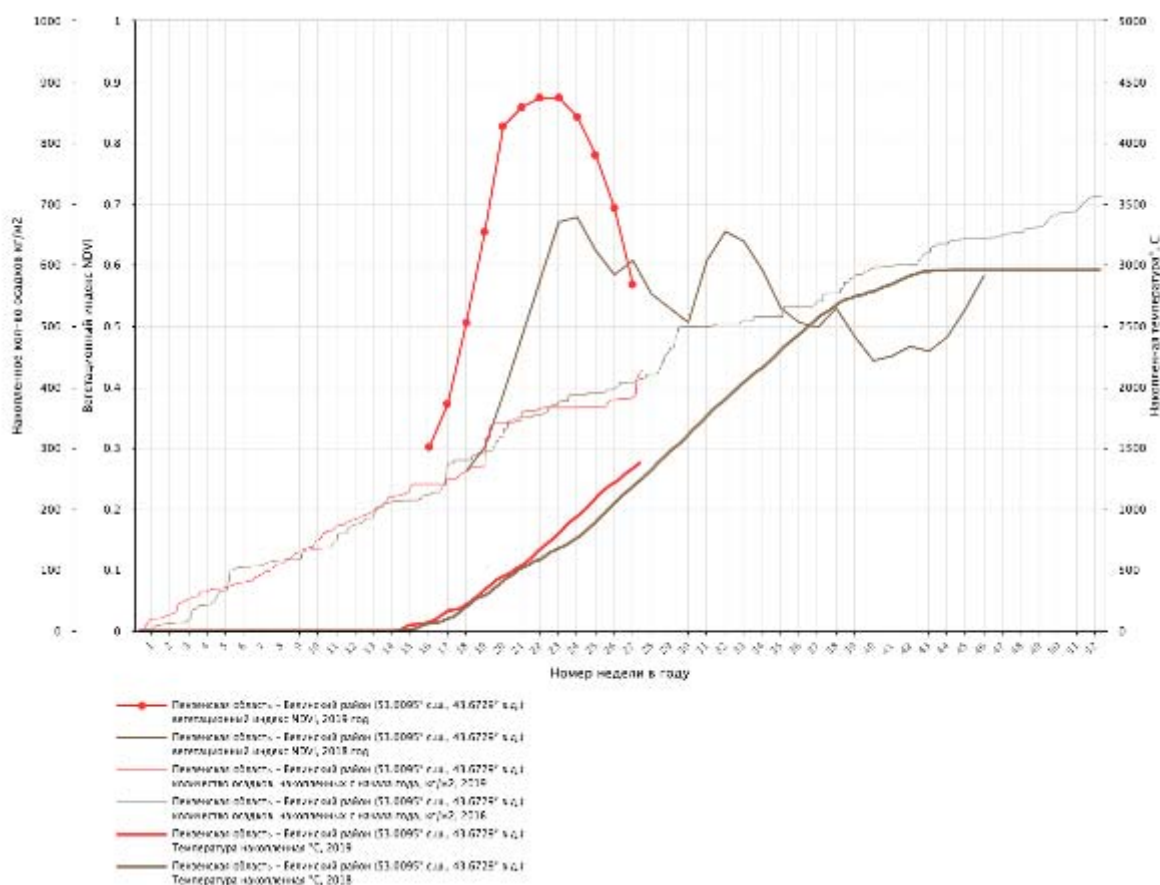


Рисунок 1.1.3.1 — Анализ временных рядов в системе «БЕГА-Science». Временные ряды накопленных температуры и количества осадков в сопоставлении с индексом NDVI

1.1.4 Анализа возможностей технологии Docker для построения элементов систем спутникового мониторинга

Современные информационные системы дистанционного мониторинга Земли, в том числе, разрабатываемые в ИКИ РАН, являются сложными, распределёнными и многокомпонентными системами, объединяющими в себе достаточно большое количество разнообразных аппаратно-программных элементов. В процессе поддержки и развития таких систем необходимо решать задачи обновления, контроля и управления всем программным обеспечением, которое в них входит, включая контроль за работающими процессами, версиями ПО, совместимостью и зависимостями программных компонент, как между собой, так и с версией операционной среды. Для решения таких задач могут применяться различные средства и инструменты, использующие методы контейнеризации и виртуализации, в частности, технология Docker.

Для анализа технологии Docker специалистами ИКИ РАН в 2019 году было проведено исследование её возможностей и ограничений. В качестве практического теста Docker были сконфигурированы и развёрнуты контейнеры основных элементов систем мониторинга, построенных с использованием технологии GEOSMIS. В их число вошли отдельные контейнеры для поддержки картографического сервиса SMISWMS, картографического интерфейса и блока для работы со спутниковыми данными и продуктами на их основе DB_UNISAT, а так же, контейнеры с ПО для потоковой обработки спутниковых данных под управлением различных операционных сред.

Полученные результаты практических тестов и проведённого анализа показали перспективность применения технологии Docker при развёртывании и эксплуатации

элементов систем обработки спутниковых данных. Использование Docker для элементов картографических сервисов и интерфейсов в сценариях их развёртывания и обновления не даёт существенных преимуществ по сравнению используемыми в настоящее время средствами. Однако, в отдельных случаях, при создании узлов с набором экспериментальных сервисов, либо, при размещении сервисов сторонних разработчиков технология представляет интерес и в этом направлении требует дальнейшей проработки.

1.1.5 Исследование возможности использования методов машинного обучения для автоматической классификации треков спутникового позиционирования на примере системы мониторинга рыболовства

Начиная с 2017 года проводились работы по классификации треков для определения достоверности отчётов о вылове в отраслевой системе мониторинга рыболовства (ОСМ).

В работе 2019 года рассмотрена возможность применения методов машинного обучения для классификации треков судов по спутниковым позиционным данным.

Для применения методов машинного обучения необходимо подготовить значительный объём данных для обучения и проверки. В первую очередь были выбраны только такие треки судов, которые находятся на значительном расстоянии от портов. Среди оставшихся позиций были выделены сутки, в которых у испытуемых судов было более пятидесяти позиций. Данное условие обеспечивало высокую вероятность того, что частота позиционного опроса не менее двух позиций в час. Для первоначальной отработки алгоритма машинного обучения были выбраны суда, имеющие аналогичные характеристики, которые проводили добычу-вылов в Охотском море.

В рамках выделенных тестовых треков, используя результаты предварительной классификации по скорости, визуально определялись участки, когда судно осуществляло траление.

Для удобства визуального выделения на диаграмме участков траления, вспомогательная программа выводит от семи до пятнадцати последовательных фрагментов трека относящихся к разным классам по скорости.

Была получена обучающая выборка, содержащая положительных примеров — 10462, отрицательных — 6050.

Были проведены тесты на основе модели классификации базового уровня (baseline model) с помощью алгоритмов случайный лес и бустинг (реализация - библиотека xgb). Оптимизируется метрика accuracy ($Accuracy = (TP+TN)/(TP+TN+FP+FN)$ where: TP = True positive; FP = False positive; TN = True negative; FN = False negative).

Для борьбы с переобучением используется метод перекрёстной проверки (cross validation) с разбиением на 3 части.

В зависимости от параметров алгоритма обучения результат совпадения составляет 70–65 %. Таким образом, были разработаны и протестированы алгоритмы подготовки обучающей выборки и проведения машинного обучения автоматической классификации треков.

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 Разработка концепции системы объективного дистанционного мониторинга объектов и ресурсов для обеспечения информационной связанности территории России

Одним из больших вызовов, стоящих перед нашей страной и сформулированных в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2035 года, является необходимость эффективного освоения и использования пространства, в том числе путем преодоления диспропорций в социально-экономическом развитии территории страны, а также укрепление позиций России в области экономического, научного и военного освоения космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики. Поставленные задачи планируется решать путем обеспечения связанности территории Российской Федерации за счет создания интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем, а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики. Таким образом, задача обеспечения связанности территории России является одной из ключевых, определяющих будущее страны.

Обеспечение связанности территории подразумевает решение большого числа комплексных задач, связанных с глобальными, межрегиональными, внутрирегиональными связями и типами связанностей, начиная от международных транспортно-логистических коридоров, связей между регионами со средней и низкой плотностью населения и хозяйственно-экономической деятельности, и заканчивая освоением территорий с низкой плотностью населения и экономической активностью при дефиците (отсутствии) традиционных путей сообщения, в том числе малонаселённых территорий с особым геостратегическим статусом.

Одной из составных частей комплексных научно-технологических проектов и программ, направленных на решение задач связанности территории России должна стать Система объективного дистанционного мониторинга объектов и ресурсов на территории РФ для обеспечения информационной связанности страны. Основной задачей такой системы будет получение объективной оперативной информации по всей территории России, для оценки текущего состояния ресурсов, разных областей и регионов, планирования направлений развития регионов и страны в целом, а также объективного контроля выполнения различных проектов.

Отсутствие объективной оперативной информации о состоянии ресурсов и объектов затрудняет, а иногда и делает невозможным стратегическое планирование и прогнозирование развития страны и отдельных регионов. Кроме того, отсутствие независимой от субъективных оценок, человеческого фактора, мнений заинтересованных ведомств, интегральной информации о состоянии регионов не всегда позволяет дать объективную оценку их текущего состояния и развития. Все это приводит к серьёзным недочётам в планировании как развития самих регионов, так и страны в целом, в том числе в определении наиболее значимых точек роста, необходимости поддержки тех или иных проектов и способов их реализации, контроля их выполнения.

Очевидно, что получать такую информацию можно только методами дистанционного зондирования из космоса или с летательных аппаратов. В первую очередь это обусловлено тем фактом, что наша страна имеет огромную территорию, большая часть которой малонаселённая. Поэтому только дистанционными методами можно оперативно получать объективную информацию сразу по всей территории страны.

Второе, современный уровень развития систем дистанционного мониторинга и технологий обработки данных позволяет проводить полностью автоматизированную обработку данных, то есть получать объективную информацию. Более того, к настоящему моменту в России существуют серьёзные, можно сказать прорывные, разработки и достижения в области создания методов и технологии работы с данными дистанционного зондирования. Российские специалисты по дистанционному зондированию используют в работе не только данные российской группировки спутников, но и активно работают с данными зарубежных спутников, которые находятся в открытом доступе, что позволяет проводить комплексный анализ состояния территории нашей страны.

Своевременность создания системы спутникового мониторинга объектов и ресурсов во многом определяется тем, что в области спутникового дистанционного зондирования в последнее десятилетие произошли большие, во многих случаях фактически революционные изменения. К ним в первую очередь относятся:

- развитие систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в том числе рост количественных и качественных характеристик. Как следствие, взрывной рост количества получаемой от них информации;
- быстрое развитие методов автоматизированной обработки данных ДЗЗ, позволившее начать массовое получение объективной (человеконезависимой) информации о различных объектах и ресурсах;
- развитие информационных технологий, обеспечивающих максимально автоматизированную работу с данными ДЗЗ, в том числе технологий хранения, обработки и распределённой работы с данными;
- создание и внедрение различных специализированных систем дистанционного мониторинга.

Ниже мы лишь кратко проиллюстрируем эти изменения.

Развитие систем ДЗЗ. По состоянию на начало 2018 года на орбите Земли действовало более 420 (по данным <http://database.eohandbook.com>) космических аппаратов ДЗЗ, данные нескольких десятков из которых являются общедоступными. По мнению авторов, настоящим прорывом в развитие средств ДЗЗ, безусловно, стал запуск и ввод в эксплуатацию полной группировки Planet Labs, в которую входит около 200 микроспутников (по данным NORAD). Есть все основания полагать, что и в ближайшие годы, с учётом падения стоимости создания спутников на основе в большой степени готовых решений и стандартизированных платформ типа Cubesat, будут созданы и другие крупные спутниковые группировки. Так, по оценкам Euroconsult к 2026 году на орбите будет действовать более 1000 систем ДЗЗ. Все это приводит к фактически взрывному росту объёма данных, поступающих от систем ДЗЗ.

Развитие методов автоматизированной обработки данных ДЗЗ. В последние годы методы автоматизированной обработки данных ДЗЗ активно развиваются для обеспечения возможности получения объективной информации в различных областях от контроля различных ресурсов и процессов до оценки чрезвычайных ситуаций и их последствий. Эти работы очень активно и достаточно успешно ведутся и в России.

Как пример, можно привести создание методов анализа данных ДЗЗ для оценки и мониторинга лесных ресурсов. Актуальность создания таких методов в первую очередь обусловлена тем, что леса России относятся к важнейшей составляющей ресурсно-экологического потенциала страны. Вместе с тем, будучи бесспорным мировым лидером по объёму имеющихся лесных ресурсов, наша страна в настоящее время обладает лишь весьма приблизительными представлениями о них, поскольку не располагает точными данными о характеристиках лесов, необходимыми для полного понимания их экономического и экологического потенциала, а следовательно, и правильного его использования. Современный этап развития методологии спутникового мониторинга лесов определяется беспрецедентно высоким уровнем доступности спутниковых данных,

возможностью их оперативного получения и формирования однородных по радиометрическому и геометрическому качеству многолетних рядов, развитием автоматических технологий предварительной и тематической обработки данных. Это позволило разработать в России уникальные технологии дистанционного мониторинга лесов, которые в настоящее время активно используются для решения как научных, так и прикладных задач. Работы по созданию, развитию и внедрению данных технологий велись, в первую очередь в институтах РАН (ИКИ РАН, ЦЭПЛ РАН и др.). Основные возможности данных технологий описаны, в частности, в работах. Созданные методы и технологии уже сегодня позволяют обеспечить на регулярной основе получение объективной информации на локальном, региональном, федеральном и глобальных уровнях, необходимой для оптимизации управления и использования доступных лесных ресурсов. В том числе для решения задач:

- охраны лесов от пожаров;
- защиты лесов от насекомых вредителей и болезней леса;
- организации и контроля лесопользования (в том числе, незаконных рубок);
- организации и контроля работ по воспроизводству лесов;
- контроля использования лесных участков, предоставленных в аренду, постоянное (бессрочное), безвозмездное срочное пользование;
- контроля охотничьих ресурсов;
- и др.

То есть фактически в настоящее время имеется возможность обеспечивать, на основе современных технологий ДЗЗ, целую отрасль объективной, оперативной информацией, необходимой для её эффективного функционирования. Такие возможности сегодня уже имеются или могут быть достаточно быстро разработаны и в интересах других отраслей и направлений деятельности.

Развитие технологий ДЗЗ. Развитие возможностей систем ДЗЗ и создание новых подходов и методов их обработки позволяет существенно расширить круг применения технологий дистанционного зондирования. В свою очередь, это потребовало разработки специальных технологий, которые могли бы обеспечить организацию практически полностью автоматизированного цикла получения, архивации, обработки и распространения информации, получаемой на основе данных ДЗЗ и, в конечном итоге, построения информационных систем дистанционного мониторинга различных объектов, процессов и ресурсов. Работы по созданию таких технологий в последнее десятилетие активно ведутся в России, в основном также силами институтов РАН.

Создание специализированных систем дистанционного мониторинга. Особо отметим, что в нашей стране в последнее десятилетие активно создаются и внедряются информационные системы дистанционного мониторинга. По разным оценкам сегодня в России действует несколько десятков специализированных региональных и федеральных систем дистанционного мониторинга, решающих научные и прикладные задачи. В этом направлении Россия сегодня не уступает наиболее развитым странам. Подавляющее большинство действующих сегодня в стране систем созданы с использованием методов, подходов и технологий, разработанных в институтах РАН, в первую очередь в ИКИ РАН. Примерами таких систем, в частности, являются:

- Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства ИСДМ Рослесхоз (<http://www.pushkino.aviales.ru/>), мониторинга лесных пожаров на всей территории России.
- Отраслевая информационная система мониторинга Федерального агентства рыбного хозяйства (ОСМ Росрыболовства) (<http://osm.smislab.ru/>), ориентированная на мониторинг промысловых судов.
- Объединённая система работы с архивами спутниковых данных центров приема НИЦ «Планета» Росгидромета (<http://moscow.planeta.geosmis.ru/>),

ориентированная на решение различных задач метеорологии и мониторинга окружающей среды.

- Информационная система «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» VolSatView (<http://volcanoes.smislab.ru/>). Основной задачей системы является решение задач мониторинга и изучения вулканической активности Камчатки и Курил.
- Спутниковый сервис See The Sea (<http://ocean.smislab.ru/>) – это информационная система, ориентированная на работу с данными спутниковых наблюдений для решения междисциплинарных научных задач исследования Мирового океана.

Всё вышесказанное можно суммировать в четыре больших пункта:

- 1) созданы новые методы обработки данных;
- 2) создана достаточно уникальная структура работ с этими данными, ведения архивов данных и распределённой работы с ними. Она находится на передовых рубежах и ничем не уступает, а где-то и превосходит западные аналоги;
- 3) накоплены уникальные многолетние архивы данных. Это важно потому, что необходимо не только в настоящий момент знать, что происходит на той или иной территории, но и уметь прогнозировать ее дальнейшее развитие, а для этого надо понимать состояние территории, которое было 10, 20 и 30 назад;
- 4) исследования ведутся в нескольких десятках институтах и вузах, они находят реальное применение – в частности, более 80% действующих информационных систем дистанционного мониторинга созданы с участием научных организаций Российской академии наук и Министерства науки и высшего образования.

Таким образом, в настоящее время имеется достаточно хорошая техническая и технологическая основа для создания системы объективного дистанционного мониторинга объектов и ресурсов на территории РФ для обеспечения информационной связанности страны.

Общая схема предлагаемой системы, потенциальные заказчики и потребители.
Создаваемая информационная система должна решать две основные задачи:

- 1) обеспечивать получение объективной оперативной информации для оценки и контроля:
 - состояния ресурсов (лесных, водных, сельскохозяйственных, минеральных и т.д.);
 - развития регионов (используемость земель, строительства, экологической обстановки, энерговыделение и т.д.);
 - транспортной инфраструктуры (развитость, планирование развития, строительство);
 - последствий чрезвычайных ситуаций (ущерб, ресурсы для ликвидации);
- 2) предоставлять инструменты для распределённой работы с информацией.

Исходя из того, что система должна обеспечить объективный оперативный контроль состояния регионов, планирование и прогнозирование развития, эффективность управления регионами, оно, в первую очередь, будет востребовано федеральными, и региональными органами власти.

В тоже время, система может быть интересна и реальному сектору экономики для получения объективной информации при планировании работ и инвестиционных проектов. При этом следует учитывать, что даже крупные компании обычно заинтересованы в получении информации о каком-то достаточно ограниченном наборе процессов и ресурсов и не заинтересованы в развитии комплексных систем мониторинга территорий. Кроме того, в ряде случаев, компании не заинтересованы в появлении методов объективного контроля их деятельности на разных территориях. Однако, по

нашему мнению, в случае создания подобной системы бизнес, безусловно, будет ее потребителем. В первую очередь это касается крупных компаний, работающих во многих регионах, компаний, планирующих развитие бизнеса в различных регионах, банков, страховых компаний. Необходимо также отметить, что компании, развивающие различные информационные сервисы, могут быть заинтересованы в участии в проекте, чтобы иметь в дальнейшем возможность расширять сферы своих услуг.

На рисунке 1.2.1.1 показана предлагаемая общая схема создаваемой системы. Два нижних уровня представляют собой техническую и технологическую основу для разработки системы и уровень специализированных информационных систем (как уже существующих, так и вновь создаваемых или дорабатываемых). Третий уровень — это уровень интеграции, уровень сбора и обработки информации. Как уже было отмечено выше, современные системы дистанционного мониторинга, решающие вполне конкретные прикладные задачи, как правило, имеют достаточно много параметров, и для разных систем они разные. Для того, чтобы полученные данные использовать для анализа и принятия решения, необходимо отобрать ключевые параметры из каждой системы, провести между ними корреляцию и интеграцию информации и выдать её на следующий уровень — аналитический, на котором интегрированная информация уже используется для оценки состояния территории страны, для прогнозирования и планирования развития. Результаты работы на этом уровне уже могут быть использованы в качестве объективных материалов планирования и прогнозирования при принятии управленческих решений на разных уровнях исполнительной власти.

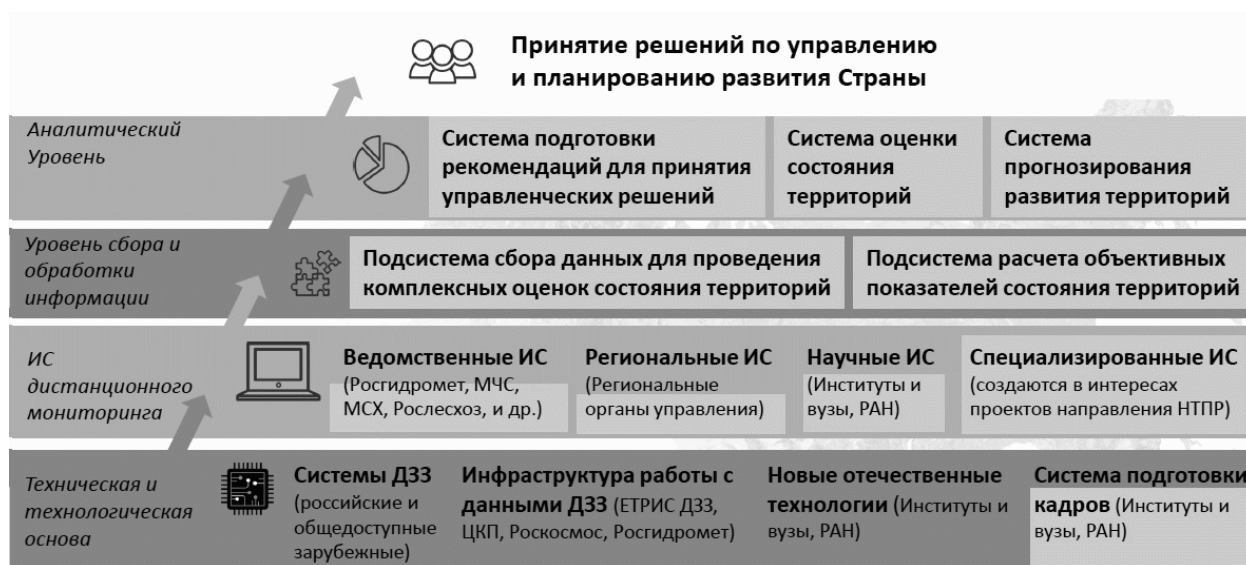


Рисунок 1.2.1.1 — Общая схема создаваемой системы объективного дистанционного мониторинга объектов и ресурсов

Научно-технические задачи, на решение которых должен быть ориентирован проект создания предлагаемой системы объективного дистанционного мониторинга объектов и ресурсов, могут быть сведены в основном в следующие четыре больших блока, связанных с созданием технологии дистанционного автоматизированного мониторинга всей территории России:

- разработка методов полностью автоматизированной обработки данных дистанционных наблюдений для восстановления различных характеристик, необходимых для обеспечения объективного контроля различных объектов и ресурсов;

- создание информационной системы (включая техническую инфраструктуру), обеспечивающей оперативное получение объективных характеристик состояния регионов России;
- разработка и внедрение научно-обоснованных подходов использования информации, получаемой в результате автоматизированного оперативного дистанционного мониторинга, для принятия решений по управлению и развитию РФ;
- подготовка (обучение) специалистов нового поколения, способных эффективно внедрять и использовать разработанные технологии, методы и системы.

Решение этих задач потребует создания новых технологий для эффективной работы с данными ДЗЗ и методов использования получаемой на основе этих данных информации при принятии управленческих решений, в частности:

- технологии работы со сверхбольшими распределёнными архивами данных ДЗЗ;
- новые автоматизированные (человеконезависимые) методы обработки данных, позволяющие получать количественные, объективные характеристики различных явлений, процессов и объектов на основе данных ДЗЗ;
- модели развития различных процессов и явлений, ориентированные на использование данных ДЗЗ, в том числе предоставляющие информацию для принятия управленческих решений;
- новые, уже внедрённые информационные системы дистанционного мониторинга, многие из которых включены в циклы принятия решений;
- методы оценки динамики развития региона на основе объективной информации, получаемой по данным ДЗЗ, включая критерии оценки эффективности управления регионами на основе информации, получаемой по данным ДЗЗ;
- методы использования информации, получаемой на основе данных ДЗЗ, для проведения оценок, планирования и прогнозирования развития регионов с учётом информации об имеющихся ресурсах (в том числе контроля и планирования транспортной инфраструктуры);
- методы объективной оценки ущербов от неблагоприятных природных и антропогенных воздействий на основе данных ДЗЗ.

В заключение следует отметить, что предлагаемая система и проект ее создания, в первую очередь, обеспечит технологическую основу для получения объективной оперативной информации на всей территории страны. Они создадут новую технологическую базу для планирования контроля крупных инфраструктурных проектов. Это, безусловно, обеспечит развитие новых методов, подходов и технологий во многих областях, начиная от космоса, авиации, геоинформационных систем до социальных и экономических направлений науки (в первую очередь направления создания новых методов планирования, управления, принятия решений, основанных на объективной и актуальной информации о состоянии различных объектов, ресурсов на всей территории страны).

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

В 2019 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. 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-Послесхоз», VolSatView, «Bega-Science» и «Bega-PRO» и многих других, являясь одним из основных источников оперативной спутниковой информации в России.

За последний год активное развитие системы велось в следующих направлениях: повышение производительности и отказоустойчивости системы за счёт резервирования и расширения 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 2019 году в рамках расширения инфраструктуры в состав системы был включен четвертый, резервный узел, расположенный на ИКИ РАН на мощностях ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Это позволило повысить надёжность системы, более эффективно распределить нагрузку на неё за счёт дополнительных ресурсов обработки и предоставления данных, дополнительно зарезервировать наиболее критичные базы данных системы.

Были существенно доработаны и усовершенствованы инструменты и методы работы с данными, получаемыми и хранимыми в распределённых центрах сбора и обработки, что позволило повысить эффективность и производительность работы с информацией. В рамках доработок был существенно расширен набор инструментария для онлайн-обработки и анализа данных, в том числе реализованы новые алгоритмы классификации данных, основанные на методе опорных векторов, дискриминантном анализе, деревьях решений и т.д.

Применение созданных и доработанных методов позволило активно использовать систему для решения большого числа задач оперативного мониторинга и мониторинга чрезвычайных ситуаций, таких как, например, обрушение горных пород на р. Буряя или наводнения на реках Амур и Ия летом 2019 года. Пример использования возможностей системы для оценки разлива реки Амур представлен на рисунке 1.2.2.1.

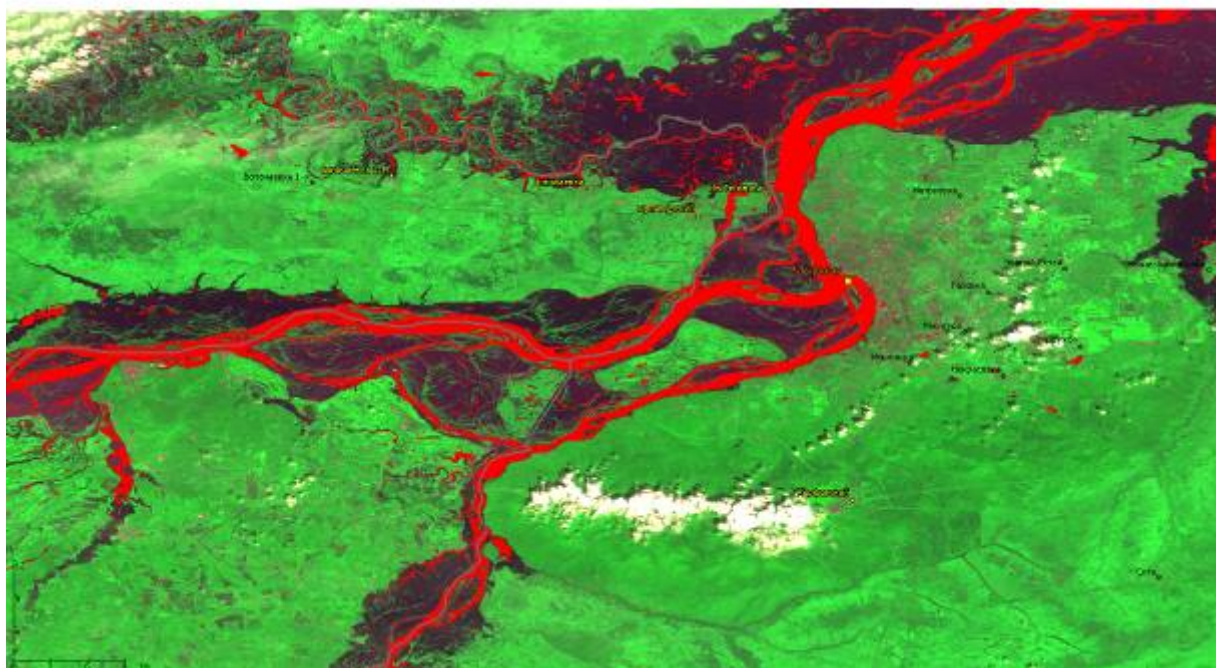


Рисунок 1.2.2.1 — Наводнение на р. Амур, август 2019. Представлены данные КА Sentinel-2 с наложенными границами русла реки по состоянию на начало июля 2019

1.2.3 Развитие информационной системы See The Sea

Информационная система «See the Sea» 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 2019 году в систему были интегрированы данные SST (sea surface temperature — температура поверхности воды), полученные на основе данных приборов MODIS и VIIRS из сервиса <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>. Организовано поступление данных в полностью автоматическом режиме по региону Каспийского, Черного и Балтийского морей, а также реализована автоматическая обработка и занесение данных в архивы.

Была усовершенствовано программное обеспечение для получения информационного продукта SST на основе данных спутников Landsat. Применена схема «виртуальных продуктов», позволяющая рассчитывать показатель в режиме реального времени в момент запроса с помощью аналитической зависимости по спектральным каналам 10 и 11 мкм.

Также была доработана возможность просмотра продуктов по температуре поверхности моря с возможностью динамического выбора ряда диапазонов температуры на палитре. Пример отображения продукта SST по данным прибора TIRS (спутник Landsat 8) в системе показан на рисунке 1.2.3.1.

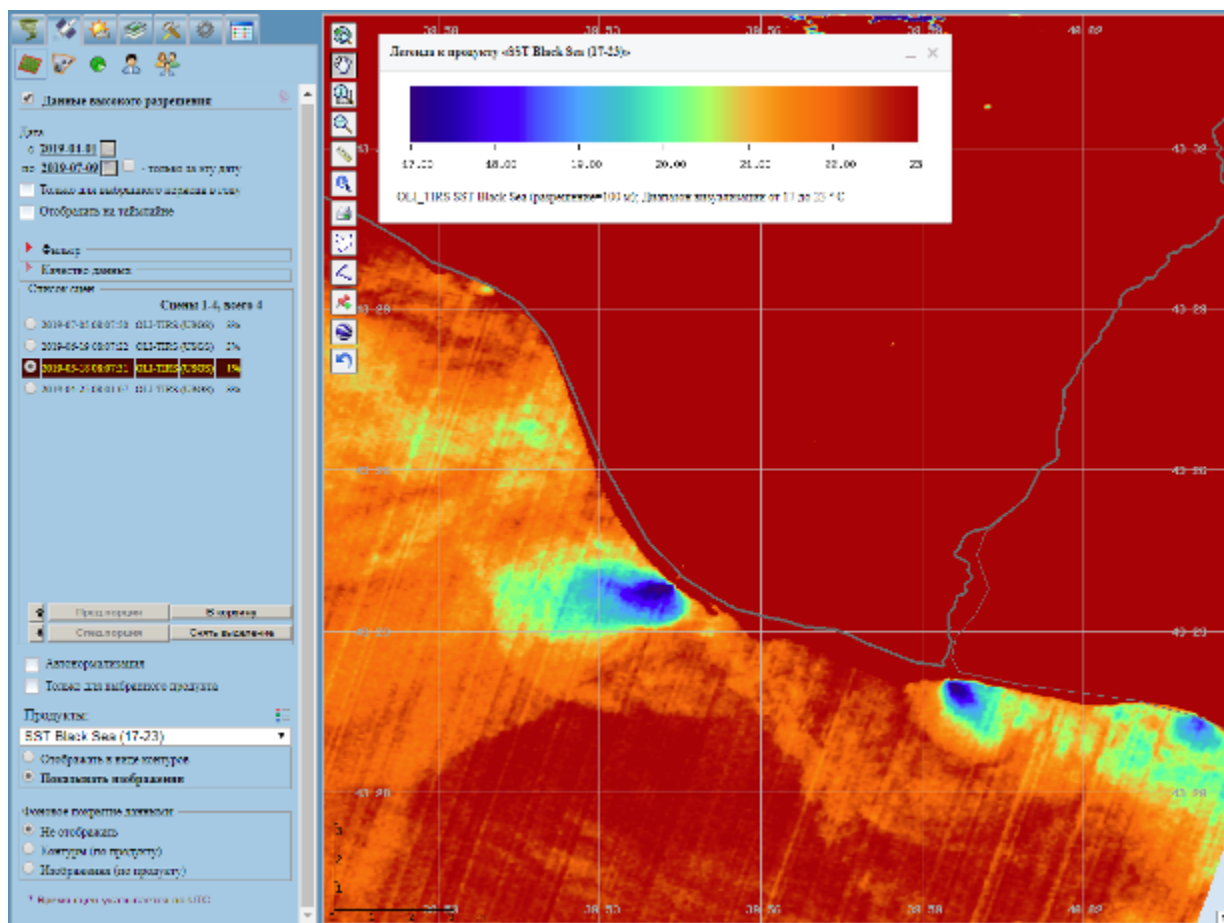


Рисунок 1.2.3.1 — Температура морской поверхности по данным прибора TIRS.
Чёрное море, 18 мая 2019 г.

Для всех добавленных продуктов проведены сравнения с общепринятыми представлениями о распределении температуры поверхности моря и отдельными данными метеостанций и показано, что ошибки лежат в пределах допустимой величины. Также были проведены сравнения температуры поверхности моря, полученной по данным прибора MODIS (спутники AQUA, TERRA) и по данным прибора TIRS (спутник Landsat 8). Сравнение показало расхождения в пределах допустимой величины, с учётом расхождения времени съёмки у указанных КА. В качестве примера на рисунке 1.2.3.2 показана двумерная гистограмма сравнения SST по MODIS (TERRA) и по TIRS (Landsat 8).

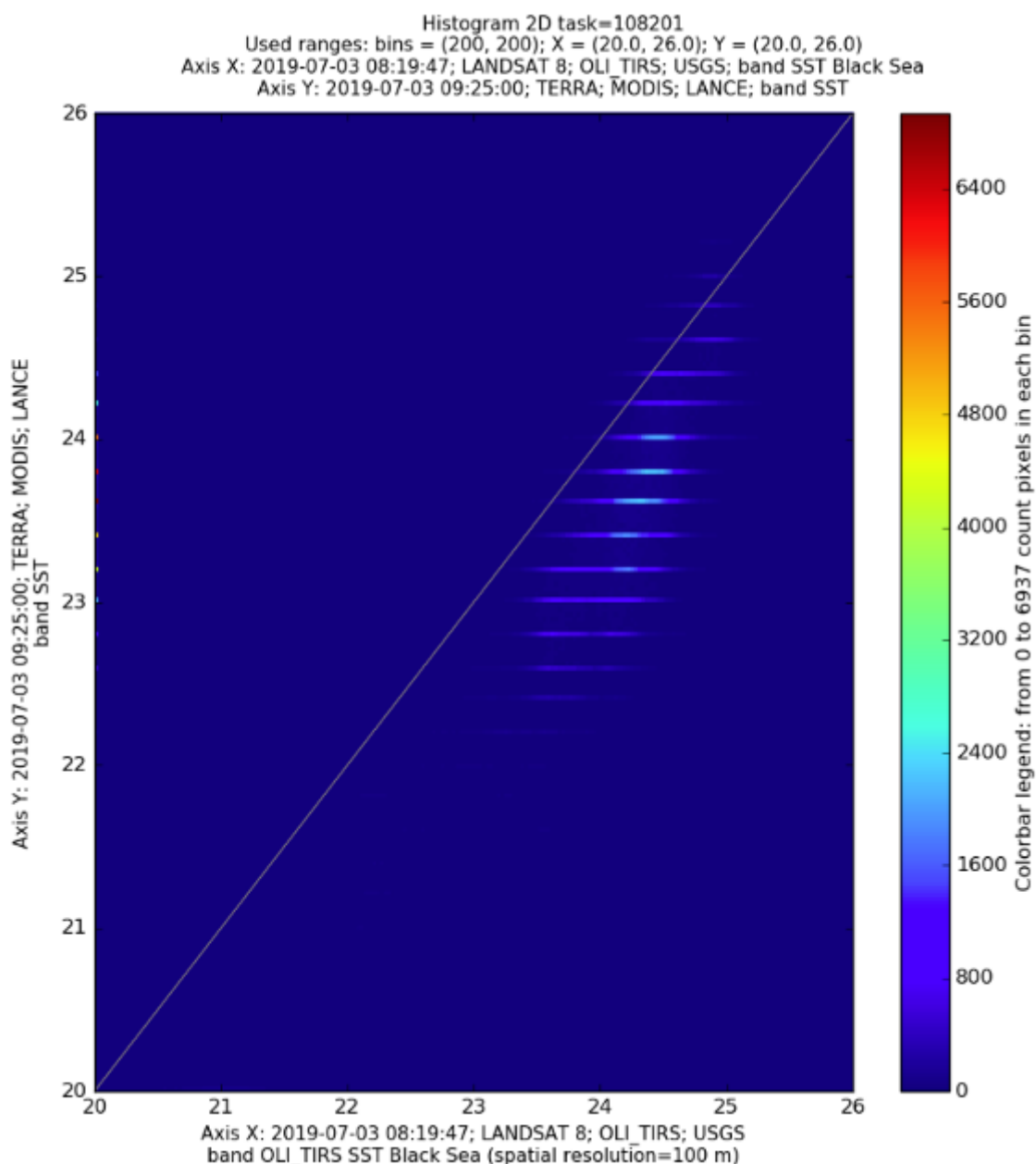


Рис. 1.2.3.2 — Сопоставление температуры морской поверхности, рассчитанной по данным приборов MODIS (TERRA) и TIRS (Landsat 8)

Был доработан интерактивный инструмент классификации и кластеризации данных из архива ЦКП ИКИ-Мониторинг: добавлены новые методы классификации, включая метод опорных векторов, дискриминантный анализ, метод случайных лесов и другие. Также в него была добавлена возможность порогового маскирования для выделения объектов на снимках. Был разработан интерактивный инструмент сегментации данных из архива ЦКП ИКИ-Мониторинг. С его помощью возможно выделение границ различных объектов, в том числе с целью дальнейшего их анализа на основе спутниковой информации.

1.2.4 Развитие информационной системы «Вега-Агрометеоролог»

«Вега-Агрометеоролог» — информационная система комплексного анализа данных агрометеорологического мониторинга. Она интегрирует широкий спектр данных, в

первую очередь, полученных дистанционными методами. Особенный интерес представляют доступные в системе различные вегетационные индексы, позволяющие подробно исследовать развитие сельскохозяйственной растительности на всей территории сельскохозяйственных земель России с учётом агроклиматического районирования. Высокая степень автоматизации всех процессов обеспечивает непрерывность и однородность рядов данных всех видов.

В 2019 году происходило развитие средств анализа данных в системе. Для работы с метеорологическими данными в системе предусмотрено несколько картографических способов изображения. В зависимости от характера данных могут использоваться изолинии, картограммы и значки. Изолинии используются для данных на основе регулярной сетки, а для анализа данных, локализованных на метеостанциях — значки. Одновременный анализ нескольких величин возможен путём нанесения в месте расположения метеостанции сложных значков, где числовые значения, снабжённые цветовой окраской, расположены в столбик. Пример такого отображения приведён на рисунке 1.2.4.1.

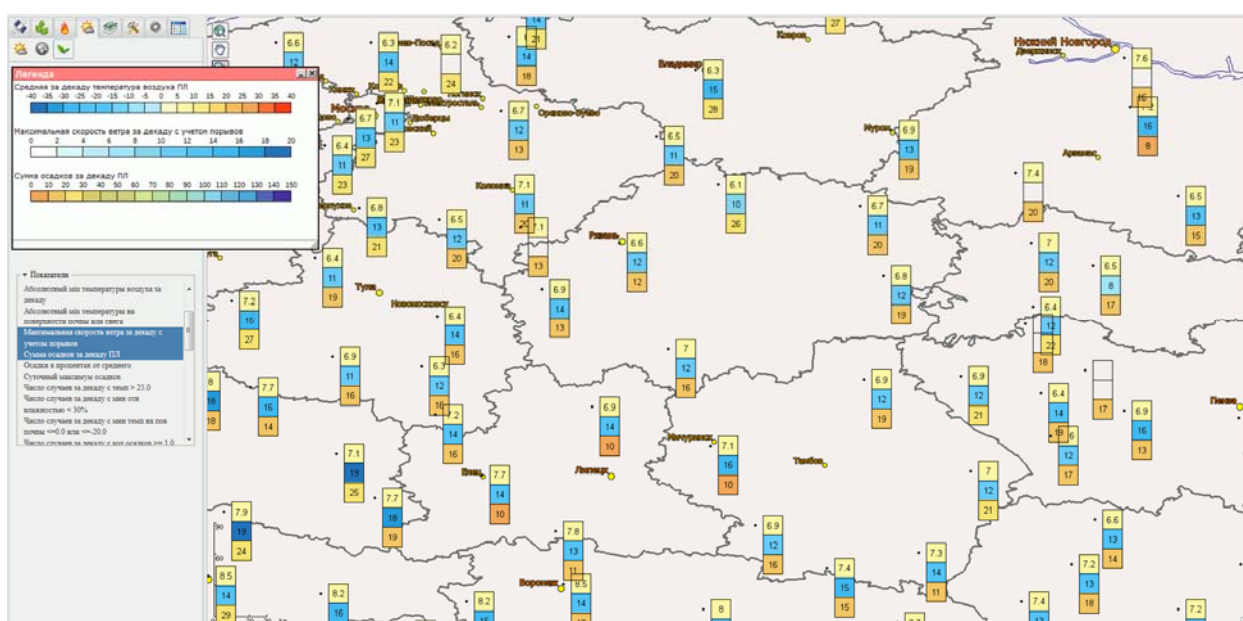


Рисунок 1.2.4.1 — Визуализация нескольких агрометеорологических величин с помощью значков

Реализована возможность анализа данных в разрезе единиц территориального деления. Возможна визуализация в виде картограмм индексов NDVI, WVCi, VCNi и др. как в абсолютных величинах, так и в виде отклонения от среднего многолетнего. Кроме того, в виде картограмм в разрезе административных районов реализована визуализация метеоданных: значений за заданный срок, средних, в виде отклонений от среднего.

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

Большинство рек Центральной Азии, в силу своих географических особенностей, являются трансграничными. Река Амударья является второй по длине и первой по полноводности в регионе. Амударья получает своё название после слияния двух главных притоков, Вахша и Пянджа, протекает вдоль узбекско-афганской границы, затем по территории Туркменистана, после чего снова попадает на территорию Республики

Узбекистан, впадая здесь в большое Аральское море. Таким образом, пользование водами Амударьи стран ниже по течению во многом зависит от стран, расположенных выше. Кроме того, река является главной водной артерией южной части центральноазиатского региона и играет огромную роль в обеспечении этой территории пресной водой для потребления её населением и в целях орошения сельскохозяйственных земель. В такой ситуации возникает необходимость контроля состояния водных ресурсов и объектов, расположенных на русле главных притоков и самой Амударьи.

В 2019 году работы в данной области были направлены на создание информационной системы, функционирующей на базе ЦКП «ИКИ-Мониторинг» и реализации следующих целей:

- Контроль состояния и динамики гидроресурсов региона (водохранилища, озера, реки, хаузы);
- Предоставление независимой, актуальной и оперативной информации о водных объектах.

Система получила пилотное название EcoSatMS (*Ecosystem Satellite Monitoring Service*, <http://suvo.geosmis.ru>) и является сервисом семейства «Созвездие-Вега». Сервис должен обеспечивать:

- доступ к регулярно пополняемым архивам спутниковых данных и результатам их обработки;
- анализ водохозяйственной обстановки в центральноазиатском регионе;
- анализ метеоданных и водообразующих факторов;
- предоставление возможности мониторинга с.-х. угодий региона, возможность контроля развития отдельных полей;
- возможность организации коллективной распределённой работы в системе.

В систему интегрированы базовые картографические слои для территории Узбекистана (водные объекты, границы регионов, дорожные сети, населённые пункты, *границы водосборов рек Центральной Азии*). Разработанная ранее методика мониторинга водохранилищ Вахшского каскада на основе кластеризации участков изображений позволила перейти к технологии расчёта площади водного зеркала с использованием индекса MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index). Такая методика позволяет автоматизировать процесс формирования наблюдений и расчёта площади в пределах так называемых «виртуальных гидропостов». Виртуальный гидропост представляет собой полигон, который заводится в систему пользователем как показано на рисунках 1.2.5.1. и 1.2.5.1. Наблюдения по конкретному виртуальному гидропосту формируются по мере поступления в архив спутниковых сцен. Обработке подвергаются данные систем *OLI_TIRS*, *MSI*, *TM*, *ETM+* по всей глубине архивов имеющихся данных. Оперативная схема расчёта позволяет формировать ряд наблюдений за выбранный период, время работы составляет от нескольких минут нескольких часов (в зависимости от временных границ). Схема расчёта и архитектура системы EcoSatMS представлены в.



Рисунок 1.2.5.1 — Занесение виртуального гидропоста в системе EcoSatMS

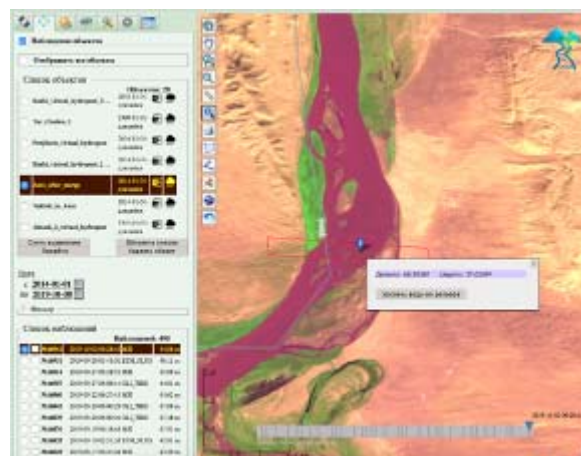


Рисунок 1.2.5.2 — Инструмент работы с виртуальными гидропостами

В системе также реализован модуль расчёта пространственного годового распределения осадков по модели NCEP для выбранного гидропоста. Результаты расчёта предоставляются пользователю в табличном и графическом видах (рисунок 1.2.5.3). Цвет и размер маркера в узле сетки NCEP говорят о величине нормированного на максимум значения количества выпавших осадков в течение года в пределах выбранных бассейнов рек.

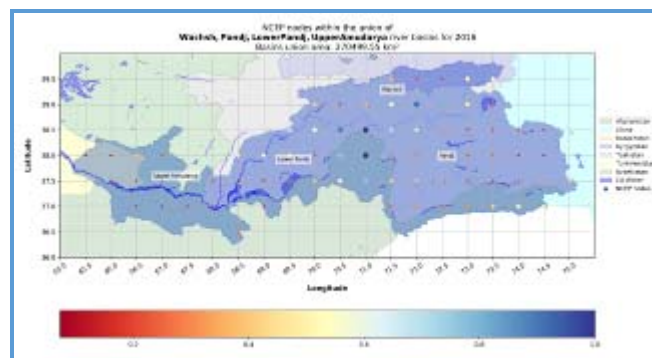


Рисунок 1.2.5.3 — Пример пространственного распределения осадков

В настоящее время ведутся работы по реализации функционала расчёта уровня воды на основе спутниковой сцены и цифровой модели рельефа ASTER v2 и верификации такого метода, а также улучшению схемы формирования ряда наблюдений на полигонах.

1.2.6 Развитие подходов к оперативному представлению данных в распределённые системы дистанционного мониторинга

Большое количество сервисов дистанционного мониторинга (СДМ) в последнее время строится по сервисной модели работы по спутниковыми данными, предоставляемыми центрами распространения данных, таких как ЦКП «ИКИ-Мониторинг», ФГБУ «НИЦ «Планета», Геопортал Роскосмоса, ИСДМ-Рослесхоз и др. По этой модели в СДМ используются, в первую очередь, картографические сервисы по спутниковым данным и продуктам на их основе, инструменты анализа и средства обработки спутниковых данных. Такие сервисы, в основном, обеспечивают СДМ различной картографической информацией и сопутствующими метаданными как по отдельным сценам, так и по композитным продуктам и аналогичным растровым данным, получаемые «на лету» под конкретные задачи, решаемые в СДМ.

Однако, зачастую, для решения задач мониторинга различных объектов и явлений необходимо проводить дополнительную обработку и накопление данных в границах отдельных объектов, используя собственные вычислительные мощности и развивая схемы обработки таких производных продуктов.

В 2019 году в рамках темы «Мониторинг» были разработаны специализированные сервисы для обеспечения СДМ интегрированной по объектам мониторинга информацией на основе продуктов обработки спутниковых данных.

Такие сервисы были использованы, в частности, для обеспечения специализированных СДМ, ориентированных на мониторинг водных ресурсов Центральной Азии (завивается в рамках темы «Мониторинг») и системы мониторинга зон расположения источников техногенных отходов и отвалов (развивается при поддержке РФФИ).

Кроме этого, в 2019 году в рамках работ по реализации перечня мероприятий федеральной целевой программы «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации на 2015-2020 годы» по теме «Развитие межведомственного информационного взаимодействия в области обеспечения химической и биологической безопасности» ИКИ РАН с учетом возможностей созданных сервисов был разработан специальный стандарт по предоставлению информационных продуктов, интегрированных по объектам мониторинга (муниципальным районам) Государственной информационной системы в области обеспечения химической и биологической безопасности (ГИС ХББ) системами, обеспечивающими доступ к спутниковой информации и результатам её обработки.

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 объёмов 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 2019 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 спутниковых 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 «VEGA-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-Мониторинга» 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, GRASS GIS, Proj, Imager, а также специализированные пакеты для обработки спутниковых данных — SeaDAS, GRASS и др.

В 2019 году нами 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 80 серверов различного назначения, работающих под управлением операционных систем UNIX и Windows. При этом для хранения файлов спутниковых данных используется 25 UNIX серверов и 4 специализированные системы хранения (NAS), а для обработки спутниковых данных, включая динамическое формирование требуемых для интерфейсов информационных продуктов — 35 Windows серверов и 15 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 2019 году было введено в строй 8 серверов различного назначения, а суммарная дисковая емкость, используемая для хранения данных, возросла более чем на 900 терабайт и настоящее время превышает 3 петабайта.

1.3.3 Архивы спутниковых данных и их наполнение в 2019 году

В настоящее время архивы ЦКП «ИКИ-Мониторинг» содержат данные более чем 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 2019 году в архивы ЦКП «ИКИ-Мониторинг» поступило около 600 терабайт новых спутниковых данных. Было реализовано поступление целого ряда информационных продуктов, получаемых по данным нового европейского спутника Sentinel-5P (прибор TROPOMI). Также в архивы начали поступать данные новых российских спутников «Канопус-В» № 5 и 6, обладающих улучшенным 12-битовым радиометрическим разрешением и позволяющих получать высококачественные черно-белые и многозональные изображения с пространственным разрешением 2,1 метра и 10,5 метров в надире, соответственно. С нового российского спутника гидрометеорологического обеспечения «Метеор-М» № 2-2 в этом году в архивы стали поступать данные прибора МСУ-МР.

В настоящее время суммарный объём архивов спутниковых данных, доступных пользователям ЦКП «ИКИ-Мониторинг», приближается к 3 петабайтам, а ежедневно в

архивы поступает около 2 Тбайт новых данных. Информация о составе архивов спутниковых данных доступных пользователям ЦКП «ИКИ-Мониторинг» по состоянию на 20.11.2019 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 часа (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	1 285	167
2	ASAR 75м	ENVISAT	2002-08-21	2012-04-08	10 635	1 986
3	ASTER	TERRA	2015-06-05	2016-07-20	1 645	11
4	ASTERGDEM	TERRA	2011-02-28	2011-02-28	1	610
5	AVHRR	NOAA 18	2012-12-24	2019-10-17	65 447	1 072
6	C_SAR_EW	SENTINEL-1A	2014-10-03	2019-11-20	80 861	10 906
		SENTINEL-1B	2016-09-26	2019-11-20	48 454	7 142
7	C_SAR_IW	SENTINEL-1A	2014-10-03	2019-11-20	539 676	272 773
		SENTINEL-1B	2016-09-26	2019-11-20	382 956	182 195
8	DEIMOS	DEIMOS	2009-12-17	2015-05-08	427	36
9	ETM+	LANDSAT 7	1999-06-29	2019-11-19	2 809 762	159 324
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	2019-03-14	16 803	1 432
13	KMCC-102	Метеор-М 1	2011-12-09	2013-01-14	14 477	571
		Метеор-М 2	2015-02-12	2018-08-28	22 913	1 945
14	MODIS	AQUA	2012-03-25	2019-11-20	1 610 246	69 327
		TERRA	2000-01-09	2019-11-20	1 709 783	87 423
15	MSI	SENTINEL-2	2018-01-02	2019-03-31	454	19
		SENTINEL-2A	2015-07-08	2019-11-19	2 906 500	907 662
		SENTINEL-2B	2017-05-15	2019-11-19	1 606 112	506 455
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	2018-07-25	56	1
		Канопус-В №4	2018-05-01	2018-07-25	64	0
		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	OLCI	SENTINEL-3A	2016-06-04	2019-11-19	21 734	1 253
		SENTINEL-3B	2019-02-09	2019-11-19	5 757	335
19	OLI	LANDSAT 8	2013-04-01	2015-09-20	4 879	764
20	OLI атм кор	LANDSAT 8	2014-01-15	2017-09-02	57 258	9 980
21	OLI-TIRS	LANDSAT 8	2013-03-19	2019-11-19	2 069 464	348 212
22	OMPS	Suomi NPP	2018-01-01	2019-10-12	64	0
23	ORBVVIEW-3	ORBVVIEW-3	2003-09-17	2007-03-04	79 761	20 656
24	ПСС	Канопус-В	2012-10-02	2018-09-09	50	10

№	Прибор	Спутник	Диапазон дат		Кол-во	Размер, Гбайт
		Канопус-В-ИК	2018-08-26	2019-04-06	68	3
		Канопус-В №3	2018-04-30	2018-09-01	340	19
		Канопус-В №4	2018-05-01	2018-09-09	338	20
		Канопус-В №5	2019-04-05	2019-05-25	72	3
		Канопус-В №6	2019-04-03	2019-04-20	54	2
25	SAR 75м	ERS	2009-02-13	2011-07-04	469	35
26	SLSTR	SENTINEL-3A	2016-11-16	2019-11-20	228 468	907
		SENTINEL-3B	2019-01-14	2019-11-20	102 838	372
27	SSUSI	DMSP	2010-04-14	2019-11-16	201 514	667
28	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
29	TROPOMI	SENTINEL-5P	2019-09-01	2019-11-20	201	0
30	PROBA-V	PROBA-V	2014-03-12	2018-04-30	2 664	12 451
31	VIIRS	Suomi NPP	2012-07-02	2019-11-20	86 322	5 791
ИТОГО:	-	-	1984-03-06	2019-11-20	16 494 787	2 703 040

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

№	Прибор	Спутник	Диапазон дат		Кол-во	Размер, Гбайт
1	AHI	HIMAWARI-8	2015-09-01	2019-11-20	1 282 700	35 290
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	2019-11-20	294 376	5 348
		NOAA 19	2011-11-24	2019-11-20	254 391	4 668
3	Геогон-П	Ресурс-П №1	2014-06-24	2019-11-17	722	146
		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	2019-11-19	409 469	39 753
6	KMCC-102	Метеор-М 1	2011-10-01	2014-09-23	38 535	2 079
		Метеор-М 2	2014-09-17	2019-11-19	401 331	42 192
7	KMCC-50	Метеор-М 2	2016-04-10	2016-04-19	900	37
8	MODIS	AQUA	2011-10-16	2019-11-19	937 595	43 728
		TERRA	2011-10-11	2019-11-20	993 483	49 216
9	MCC	Канопус-В	2011-12-30	2019-11-14	46 919	708
		Канопус-В-ИК	2013-10-06	2018-09-25	462	6
		Канопус-В №3	2018-07-15	2018-07-15	2	0
		Канопус-В №4	2018-07-23	2018-07-23	2	0
10	МСУ-ГС	ELECTRO-L-1	2013-10-31	2016-07-12	17 225	557
		ELECTRO-L-2	2016-04-14	2019-11-20	278 961	1 830
11	МСУ-ИК-СРМ	Канопус-В-ИК	2017-08-08	2019-11-18	6 999	1 558
12	МСУ-МР	Метеор-М 1	2014-03-07	2014-12-12	10 319	162
		Метеор-М 2	2014-07-31	2019-11-19	1 398 200	37 985
		Метеор-М 2-2	2019-07-19	2019-11-20	1 366	25
13	MVIRI	METEOSAT 7	2013-05-23	2017-01-25	97 300	2 072
14	ПСС	Канопус-В	2011-12-30	2019-10-29	40 295	2 571
		Канопус-В-ИК	2013-10-06	2018-12-13	258	15
		Канопус-В №3	2018-07-02	2018-07-02	2	0
		Канопус-В №4	2018-07-31	2018-08-03	4	0
15	SEVIRI	METEOSAT 10	2017-10-04	2019-11-20	288 717	4 025
		METEOSAT 8	2017-07-03	2019-11-20	286 781	4 007
		MSG	2013-05-23	2018-04-28	152 080	8 442
16	КШМСА-СР	Ресурс-П №2	2015-03-17	2016-12-18	50	13
17	КШМСА-ВР	Ресурс-П №1	2014-04-01	2019-08-31	1 108	537
		Ресурс-П №2	2015-03-17	2017-12-15	606	165
		Ресурс-П №3	2016-05-11	2017-02-11	216	42

№	Прибор	Спутник	Диапазон дат		Кол-во	Размер, Гбайт
18	VIIRS	JPSS1 (NOAA 20)	2018-01-10	2019-11-19	44 355	2 842
		Suomi NPP	2013-02-27	2019-11-19	236 528	16 001
ИТОГО:	-	-	2011-09-20	2019-11-20	7 783 643	311 576

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 обеспечивает 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.
- 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 2019 году состав доступных пользователям информационных продуктов был существенно расширен. В частности, реализовано поступление целого ряда информационных продуктов, получаемых по данным нового европейского спутника Sentinel-5P (прибор TROPOMI): концентрация озона, содержание оксида серы, содержание монооксида углерода и аэрозольный индекс УФ-поглощения. Кроме этого, в архивы теперь поступают тематические продукты, полученные по данным уже существовавших ранее спутниковых систем, в частности: продукт «озон аэрозольный» по данным спутника NPP (прибор OMSP), продукт «хлорофил-а» по данным приборов MODIS и VIIRS, а также ряд показателей экологического вреда лесным массивам (нарушенности), получаемых по данным прибора MODIS.

В 2019 году было также реализовано в архивы поступление целого ряда новых композитных информационных продуктов, основные из которых приведены ниже:

- Недельные композиты индекса растительности FPAR.
- Новые версии недельных и четырёхдневных композитов индекса NDVI и отражательной способности в красном и ближнем инфракрасном диапазоне по данным MODIS.
- Недельные композиты индекса растительности NRVI, полученные по радарным данным.
- Ежедневные интерполированные композиты индекса NDVI и отражательной способности в красном и ближнем инфракрасном диапазоне по данным MODIS.

1.3.5 УНУ «Вега-Science» и развитие ее в 2019 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 2019 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 2019 году была также существенно расширена функциональность предоставляемых пользователям инструментов для анализа и обработки спутниковых данных:

- Доработан интерактивный инструмент классификации и кластеризации данных, в частности были добавлены новые методы классификации, включая метод опорных векторов, дискриминантный анализ, метод случайных лесов. Также добавлена возможность порогового маскирования для выделения объектов на снимках.
- Разработан интерактивный инструмент сегментации данных. С его помощью можно выделить границы различных объектов, в том числе с целью дальнейшего их анализа на основе спутниковой информации.
- Был разработан интерактивный инструмент классификации сельскохозяйственных полей по типу используемости (используемые/неиспользуемые). Он реализует метод оценки используемости сельскохозяйственных полей на основе значений вегетационного индекса NDVI, вычисленных по данным прибора MODIS.
- Был разработан интерактивный инструмент кросс-калибровки спутниковых данных. С его помощью можно производить кросс-калибровку одних данных по другим, принятым за эталон.

Кроме этого в 2019 году были модифицированы различные компоненты реализованного многофункционального веб-интерфейса. В частности, разработана новая версия интерфейса для графического анализа временных рядов спектральной яркости наземных объектов по данным спутниковых наблюдений. К особенностям новой версии интерфейса можно отнести возможность интерактивного масштабирования шкалы времени при запросах рядов данных произвольной продолжительности: от нескольких часов до нескольких месяцев. Расширены также возможности сравнительного анализа рядов наблюдений различных объектов. Во вкладке для работы с метеоданными добавлена возможность использования данных более высокого пространственного разрешения (0,25°).

1.3.6 Научные и прикладные информационные системы, использовавшие возможности ЦКП в 2019 году

На основе предоставляемых ЦКП «ИКИ-Мониторинг» возможностей по доступу и обработке спутниковых данных в 2019 году функционировало более 13 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 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, используемые 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 ее комплексный анализ и др.

Кроме этого в 2019 году была реализована новая 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.

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 2019 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.

- Информационную систему «Вега-Агрометеоролог» (<http://agrometeo.geosmis.ru>), предназначенную для комплексного агрометеорологического мониторинга, которая разрабатывается ИКИ РАН совместно с Гидрометцентром России, ФГБУ «НИЦ «Планета» и ВНИИСХМ. Система предназначена для обеспечения экспертов инструментами совместного анализа регулярной спутниковой информации и данных наземных наблюдений по всей территории сельскохозяйственных земель России с учётом агроклиматического районирования. Подробнее о её возможностях написано в пункте.
- 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 2019 году возможностями ЦКП «ИКИ-Мониторинг» пользовались более 80 организаций (<http://ckp.geosmis.ru/default.aspx?page=7>). При этом новыми пользователями ЦКП стали 14 организаций:

1. ФГБУН Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН (ИПРЭК СО РАН).
2. Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН (ИТиГ ДВО РАН).
3. ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова».
4. ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна».
5. ФГБУН «Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства».
6. ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина».
7. ФГБУН «Институт лесоведения Российской академии наук» (ИЛАН РАН).
8. ФГБУН «Центральный научно-исследовательский институт Эпидемиологии» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора).
9. ФГБУН Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука Российской академии наук (ИВМ РАН).
10. «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Минздрава России (ФГБУ «ЦСП» Минздрава России).
11. ФГБУ Национальный парк «Плещеево озеро».
12. ФГБУН Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН (ИМГиГ ДВО РАН)
13. ФГБУ культуры «Музей Морского океана».
14. Государственное казенное общеобразовательное учреждение города Москвы «Школа «Технологии обучения» (ГКОУ школа «Технологии обучения».

1.3.8 Научные проекты, выполняемые с использованием возможностей ЦКП «ИКИ-Мониторинг» в 2019 году

В 2019 году возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг» использовались для решения задач 21 проекта, поддерживаемого 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: Сиринов А.А., д-р биол. наук. 2019–2022. Головная организация — Институт лесоведения 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 19-416-233031 р_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.
 - 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: Лаопулос 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 им. М.В. Ломоносова.
 - РФФИ 19-416-910006 p_a. Научное обоснование использования данных дистанционного зондирования для оценки вероятности наступления засушливых условий, Руководитель: Дунаева Е.А., канд. техн. наук. 2019–2019. Головная организация — Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма.
 - РФФИ 18-55-45023. Разработка методов спутникового мониторинга сезонного развития посевов сахарного тростника в Южной Индии в целях контроля их водообеспечения и азотного питания, 2018–2019, Руководитель: Барталев С.А., д-р техн. наук. 2018–2019. Головная организация — Институт космических исследований Российской академии наук.
 - РФФИ 16-29-09615. Разработка методов и информационных инструментов для получения, интерпретации и эффективного использования в специальных криминалистических экспертизах данных мультиспектрального дистанционного зондирования ареалов растений, Руководитель: Саворский В.П., канд. техн. наук. 2016–2019. Головная организация — Фрязинский филиал института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН
 - РФФИ 17-05-41152 РГО_a. 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 17-05-00715-a. Гидродинамические процессы, связанные с распространением речных и лагунных вод в море, и методы их дистанционной диагностики, Руководитель: Лаврова О.Ю, канд. физ.-мат. наук 2017–2019.

Головная организация — Институт космических исследований Российской академии наук.

- 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.
- РФФИ 17-307-50006. Пространственное моделирование рисков повреждения насаждений абрикоса весенними заморозками, Руководитель: Савин И.Ю., д-р с.-х. наук. Год начала проекта — 2017. Головная организация — Почвенный институт им. В.В. Докучаева.

За предшествующие годы с использованием возможностей ЦКП «ИКИ-Мониторинг» было выполнено 44 научных проекта. С полным списком проектов можно ознакомиться на сайте ЦКП (<http://ckp.geosmis.ru/default.aspx?page=5>).

Также в 2019 году центр вошёл в число 18 объектов научной инфраструктуры, для которых РФН поддержал 106 проектов в рамках конкурса «Проведение исследований на базе существующей научной инфраструктуры мирового уровня».

1.3.9 Основные публикации, при подготовке которых были использованы возможности ЦКП

По имеющимся у нас данным на текущий момент опубликовано уже более 380 результатов работ, которые выполнялись с использованием возможностей ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Из них 95 статей были опубликованы в 2019 году. С полным списком статей можно ознакомиться на сайте ЦКП (<http://ckp.geosmis.ru/default.aspx?page=4&p=7>).

Заключение

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

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

- разработка 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 объединенной 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 «Beга-Science»);

Материалы, представленные в данной главе, позволяют считать, что работы по направлению «Мониторинг-Технологии» в 2019 году выполнены в полном объёме.

РАЗДЕЛ 2 МОНИТОРИНГ-БИОСФЕРА

Введение

Растительный покров, как неотъемлемая часть биосферы планеты, характеризуется нарастающими процессами деградации и трансформации, вызванными антропогенным воздействием и климатическими изменениями. Единственным способом получения актуальных данных о растительном покрове в масштабах России остаются методы дистанционного зондирования Земли. Применение указанных методов позволяет получать информацию о пространственном распределении и динамике растительного покрова России.

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

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

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

- развитие научных основ и автоматизированных методов обработки временных рядов мультисенсорных данных дистанционного зондирования для обеспечения долговременного мониторинга наземных компонент биосферы. Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 2.1 настоящей главы;
- развитие методов обработки данных ДЗЗ, направленных на получение устойчивых нормализованных наборов и рядов данных для оценки различных характеристик почвенно-растительного покрова. Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 2.2 настоящей главы;
- развитие методов дистанционного мониторинга динамики наземных экосистем с использованием физических и эколого-математических моделей. Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 2.3 настоящей главы;
- формирование и анализ многолетних рядов характеристик наземных компонент биосферы для исследования глобальных изменений, решения задач рационального природопользования и устойчивого развития. Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 2.4 настоящей главы.

Подробно полученные в данном направлении результаты изложены в следующих научных публикациях [1, 2, 39, 41, 43, 72, 74-78, 84, 97, 122-127, 129, 130, 154, 156, 159, 167, 168, 170-172].

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

В рамках работ по развитию методов формирования временных рядов данных дистанционного зондирования был разработан основанный на LOWESS метод локальной взвешенной регрессии полиномами второй степени для восстановления временных серий безоблачных измерений без использования масок облачности и теней, который был апробирован на примере данных приборов MODIS (Terra, Aqua) и MSI (Sentinel-2A/B). Метод использует сезонную временную серию всех доступных и взвешенных значений целевого индикатора (вегетационного индекса или коэффициента спектральной яркости), а в качестве метрики веса выступают преобразованные значения нормализованного разностного индекса снега NDSI, который чувствителен к наличию мешающих факторов, в том числе, облачности. Использование этого метода позволяет отказаться от создания масок облачности и теней в процессе обработки спутниковых данных, что может быть удобно при оперативном мониторинге некоторых компонентов биосферы (в частности, сельскохозяйственных земель), а также при работе с данными некоторых спутниковых систем. Разработанным методом были восстановлены временные серии вегетационного индекса NDVI, а также коэффициенты спектральной яркости в красном и ближнем ИК диапазонах на европейскую и часть азиатской территории России за 2017-2019 годы. Пример безоблачной временной серии ежедневных значений NDVI по данным MODIS на территорию республики Крым, соответствующий сельскохозяйственному полю, занятому озимыми культурами в 2018 году, приведён ниже (рисунок 2.1.1).

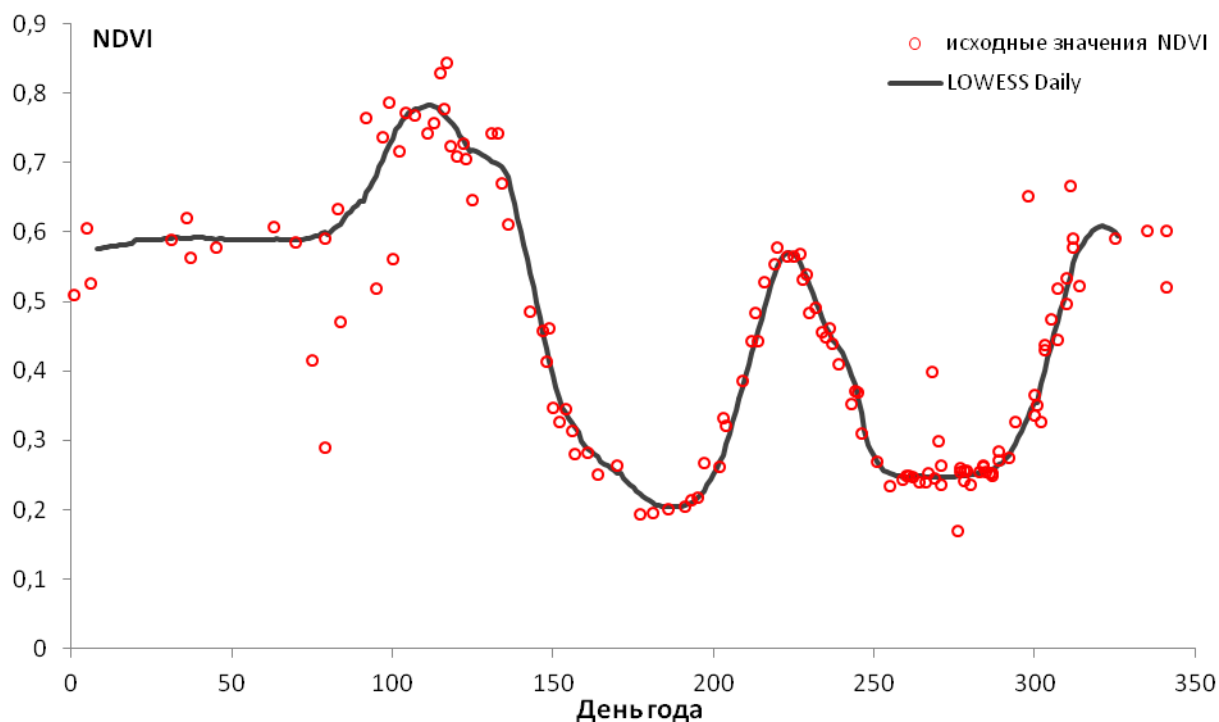


Рисунок 2.1.1 — Пример восстановления временных серий NDVI озимых культур по спутниковым данным MODIS на основе метода LOWESS

Из примера можно заметить, что метод способен восстанавливать пропущенные значения, практически игнорируя измерения, выполненные в условиях наличия мешающих факторов (исходные значения, находящиеся заметно ниже или выше восстановленной кривой), позволяя достигать ежедневной частоты наблюдений даже в

течение зимнего периода, когда озимые находятся в покое. Разработанный подход оказался эффективен при восстановлении временных серий спутниковых данных других сенсоров, в том числе, высокого пространственного разрешения MSI (Sentinel-2A/B). В частности, сезонные временные серии NDVI с пространственным разрешением 10 метров были построены на сельскохозяйственные регионы Индии, занятые различными сельскохозяйственными культурами (рисунок 2.1.2).

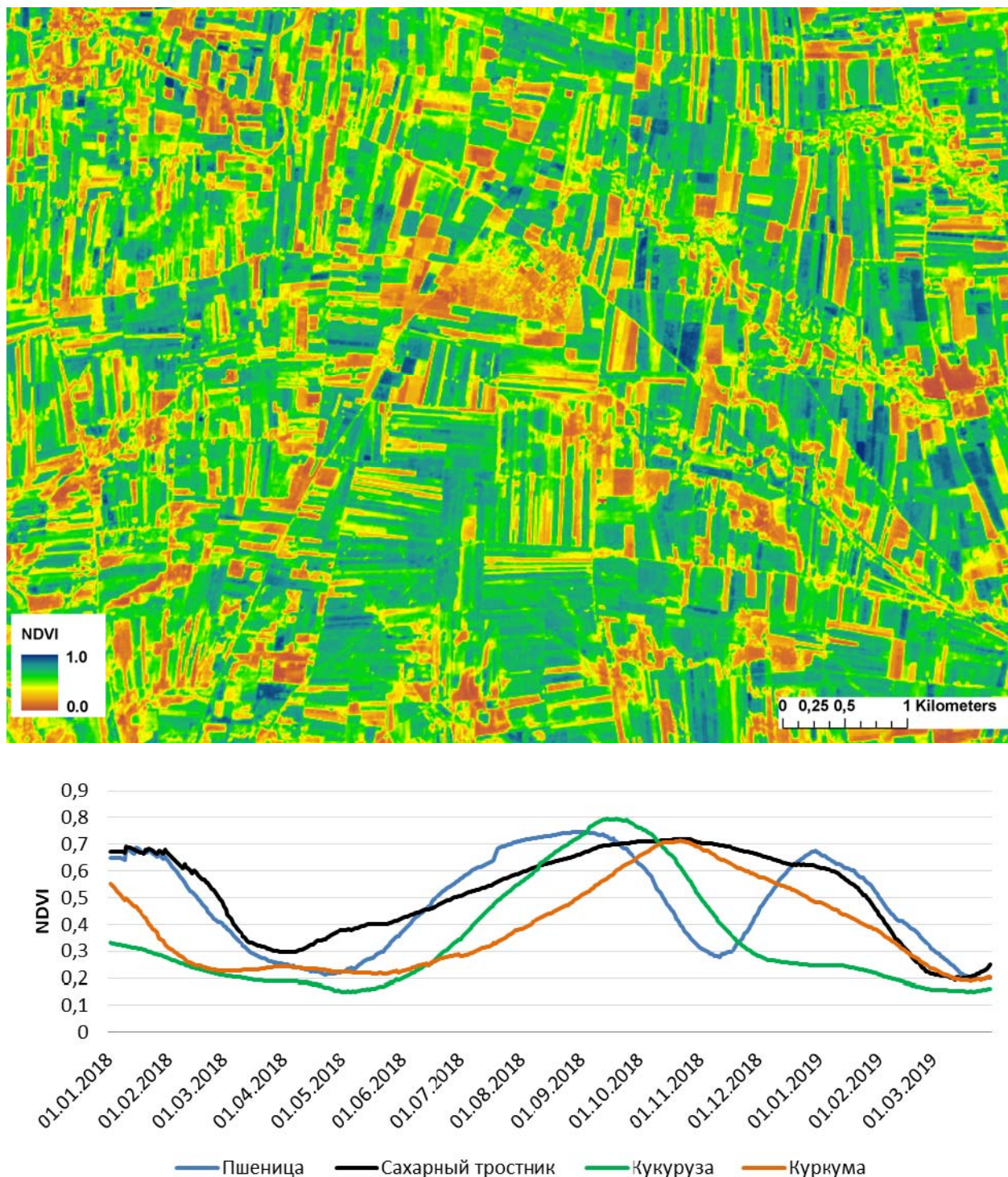


Рисунок 2.1.2 — Восстановленное на основе метода LOWESS изображение NDVI по данным прибора MSI (10 м) за 15 декабря 2018 года (*вверху*); восстановленные сезонные временные серии NDVI (MSI) для различных сельскохозяйственных культур (*внизу*)

Регион характеризуется крайне небольшими размерами полей (типичный размер менее 1 га), высокой неоднородностью посевов и сложными условиями наблюдения в оптическом диапазоне из-за длительных периодов сплошной облачности во время муссонного сезона. Предварительная оценка восстановленных временных серий на основе точности тематических результатов распознавания сельскохозяйственных культур, которая составила 86,9%, указывает на их информативность для решения задач оценки растительного покрова.

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

Настоящий раздел посвящён развитию методов обработки мультиспектральных изображений прибора МСУ-100/200М для формирования сезонных и многолетних наборов данных измерений коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) на уровне земной поверхности (уровня L2A) для решения задач оценки растительного и почвенного покрова. По результатам выполненных исследований и разработок начато формирование архива атмосферно-скорректированных мультиспектральных изображений КМСС («Метеор-М» № 2) для количественной оценки характеристик земной поверхности.

Необходимо отметить, что данные прибора МСУ, снимающего в зелёном, красном и ближнем ИК диапазонах длин волн с повторяемостью наблюдений каждые 3–5 дней и имеющие пространственное разрешение 60–100 м, представляют интерес при решении задач дистанционной оценки характеристик земной поверхности, мониторинга и оценки растительного покрова. Однако исходные данные не соответствуют минимальным требованиям, налагаемым многими автоматическими алгоритмами по формированию временных серий безоблачных измерений, распознаванию и оценке растительного покрова. В частности, данные характеризуются недостаточно точной географической привязкой мультиспектральных изображений, отсутствием методов для выявления и исключения мешающих факторов на изображениях прибора, а также отсутствием рабочих решений для атмосферной коррекции измерений. Более того, задача автоматического выявления мешающих факторов на изображениях МСУ представляется нетривиальной и не может быть решена классическими методами, используемыми для других приборов ДЗЗ.

В частности, характерные особенности прибора МСУ, затрудняющие классическое детектирование облачности, приводят к наличию значительных различий в геометрии наблюдений между зелёным, красным и БИК каналами (параллакс около 9°) и одновременно возникающую в результате разницу во времени наблюдения одного и того же участка поверхности (20 с между соседними каналами). После орторектификации и гармонизации разноспектральных изображений на уровне земной поверхности образы объектов облачного покрова оказываются разнесёнными на мультиканальном изображении. В результате использование классических мультиспектральных индексов для выделения облачности по аналогии с методом Fmask оказывается затруднено и дополнительно усугубляется отсутствием коротковолнового канала.

Ранее было показано, что опорная информация о границах объектов земной поверхности полученная на основе данных более высокого пространственного разрешения (например, Landsat) может служить эффективным средством для географической привязки изображений, а использование ежедневных восстановленных временных серий MODIS в качестве эталона измерений КСЯ в красном и БИК-диапазонах длин волн на уровне земной поверхности позволяет использовать метод атмосферной коррекции на основе вычитания гистограмм. В рамках настоящих работ эти методы получили дальнейшее

развитие с тем, чтобы сформировать длинные временные серии скорректированных измерений МСУ.

В частности, для локализованной уточнённой привязки исходных изображений КМСС был предложен двухэтапный метод, основанный на использовании на первом этапе спутниковых данных среднего разрешения MODIS с последующим уточнением результатов на основе границ устойчивых объектов, полученных по данным Landsat. Подход с использованием данных MODIS для первого этапа уточнённой привязки данных МСУ заключается в поиске наиболее оптимального локального смещения небольших блоков изображения КМСС на основе поиска максимального значения корреляции между данными (рисунок 2.2.1). При этом естественным образом наблюдается взаимосвязь между наличием облачности и величиной максимального значения корреляции для каждой локальной области (блока 100×100 пикселей), что впоследствии используется для создания маски облачности и теней.

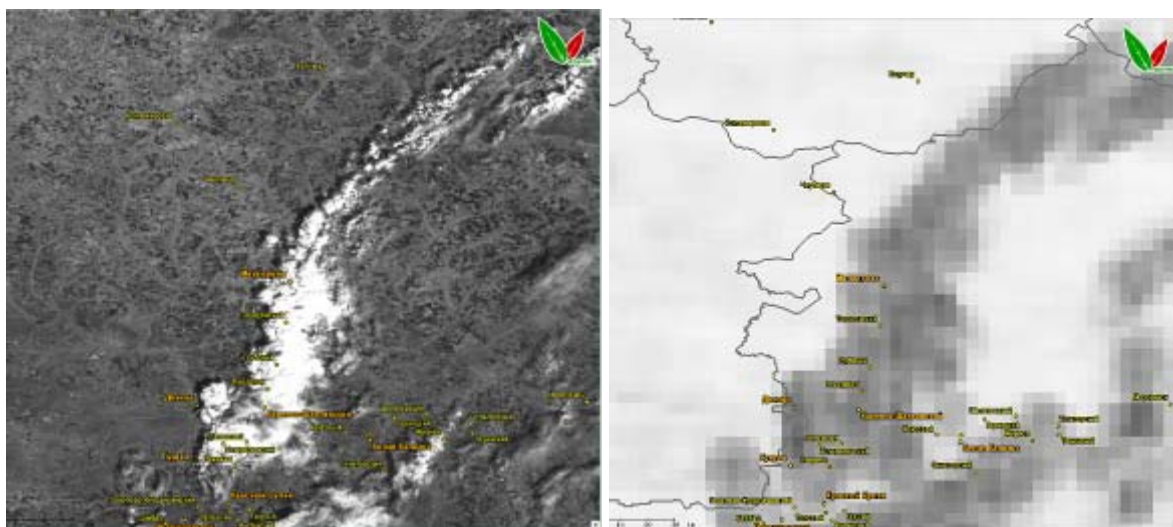


Рисунок 2.2.1 — Исходное изображение КМСС в ближнем ИК (*слева*) от 13.08.2018 и результат оценки максимальной локальной пространственной корреляции с соответствующим изображением MODIS блоками 100×100 пикселей (*справа*). Тёмные области соответствуют низкому максимальному значению пространственной корреляции из-за наличия мешающих факторов

На следующем этапе проводится выделение устойчивых границ объектов на текущем изображении МСУ и локализованный анализ их соответствия опорным границам по данным Landsat с расчётом метрики, характеризующей совпадение. Для формирования слоя устойчивых границ каждое изображение Landsat-8 (OLI) проходит через автоматическое выявление и фильтрацию облачности и теней, сегментацию, выделение границ сегментов, после чего множество результатов сегментации за один год измерений попиксельно суммируется с формированием слоя «вероятности» наблюдения границы в текущем пикселе (рисунок 2.2.2). В результате выполненных работ сформированы устойчивые границы объектов земной поверхности для всей территории России.

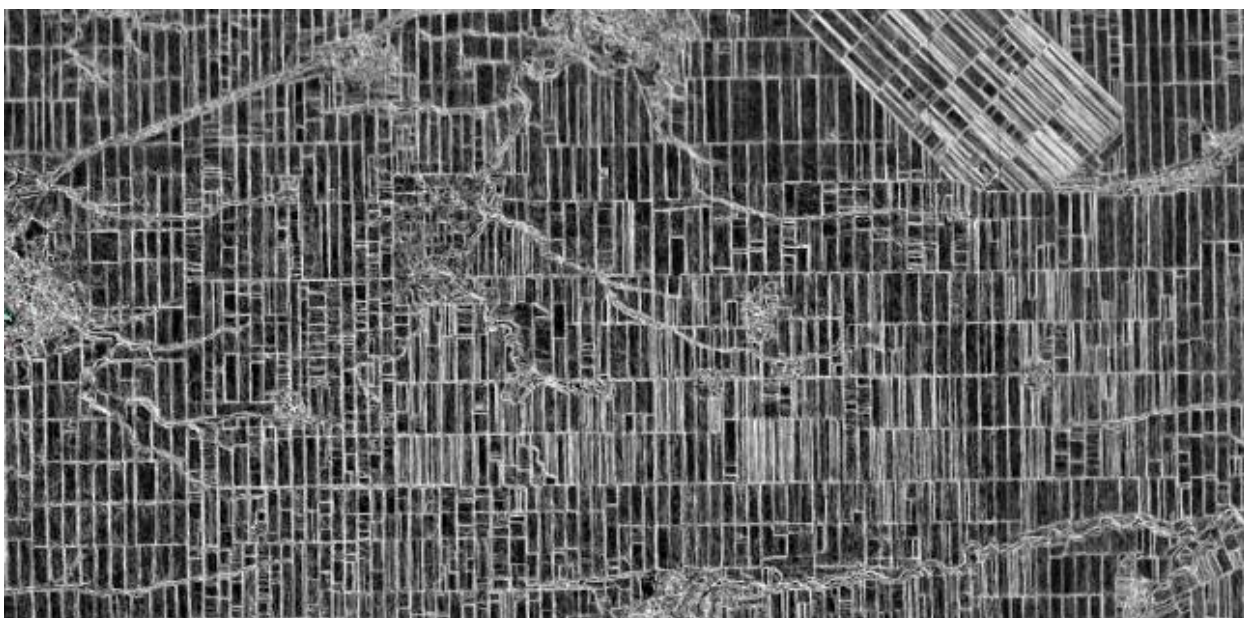
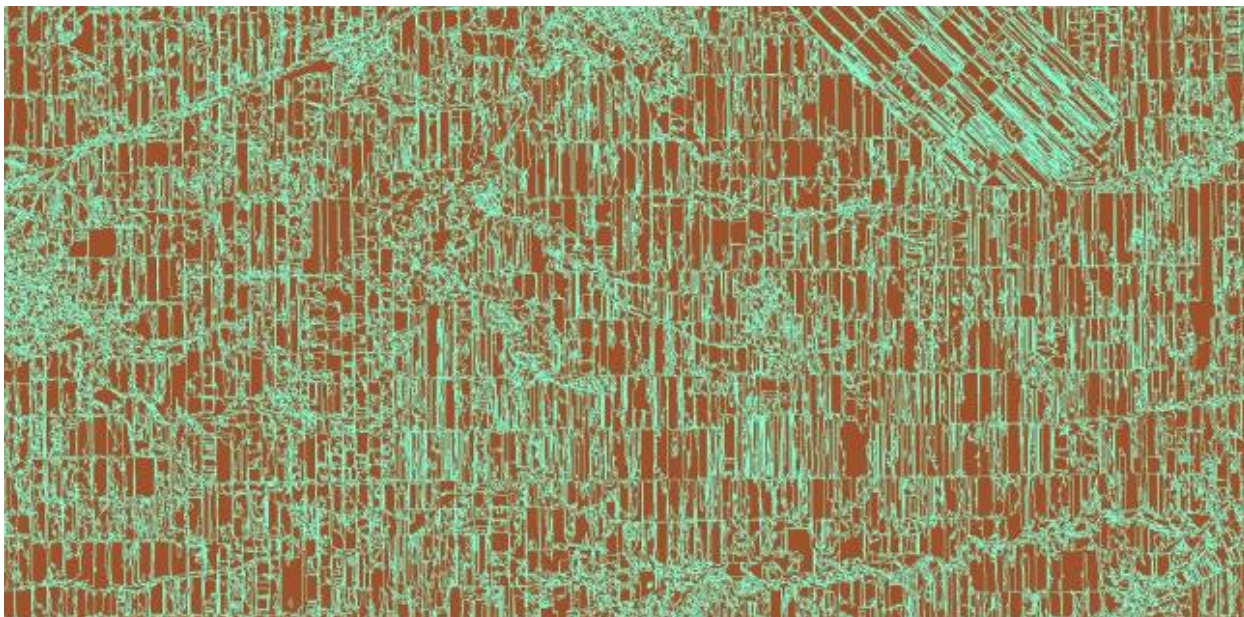


Рисунок 2.2.2 — Пример формирования слоя устойчивых границ по данным высокого разрешения: результат выделения границ после сегментации отдельно взятого изображения Landsat-8 (OLI) в БИК (*вверху*) и результат нормализованного суммирования всех обнаруженных за год безоблачных наблюдений (*внизу*), светлые тона соответствуют более высокой вероятности наблюдения границы объектов

По завершению этапов уточнённой привязки на основе использовании данных среднего и высокого пространственного разрешения стало возможным обнаруживать и оценивать величину локальных аномалий географической привязки изображений, в том числе, горизонтальные и вертикальные смещения (рисунок 2.2.3).



Рисунок 2.2.3 — Изображения локализованных смещений изображения КМСС (красный канал) от 13.08.2018 по горизонтальной (*слева*) и вертикальной (*справа*) координате, выявленных после комплексной допривязки изображения; хорошо заметны линии аномалий локальной привязки, идущие поперёк направления полёта спутника

Как отмечено выше, в основе метода детектирования облачности лежит использование локальных максимальных значений корреляции между данными МСУ и MODIS (рисунок 2.2.1, справа). Изображение корреляции используется для предварительного выделения безоблачных участков исходного изображения (высокие значения максимальной корреляции) и облачных участков (низкие значения), на основе которых формируются локальные гистограммы классов облачности и чистой поверхности в каждом канале. Анализ разности гистограмм этих классов позволяет автоматически установить адаптивный порог на выделение облачности, позволяющий минимизировать ошибки избыточного выявления облачности (рисунок 2.2.4).

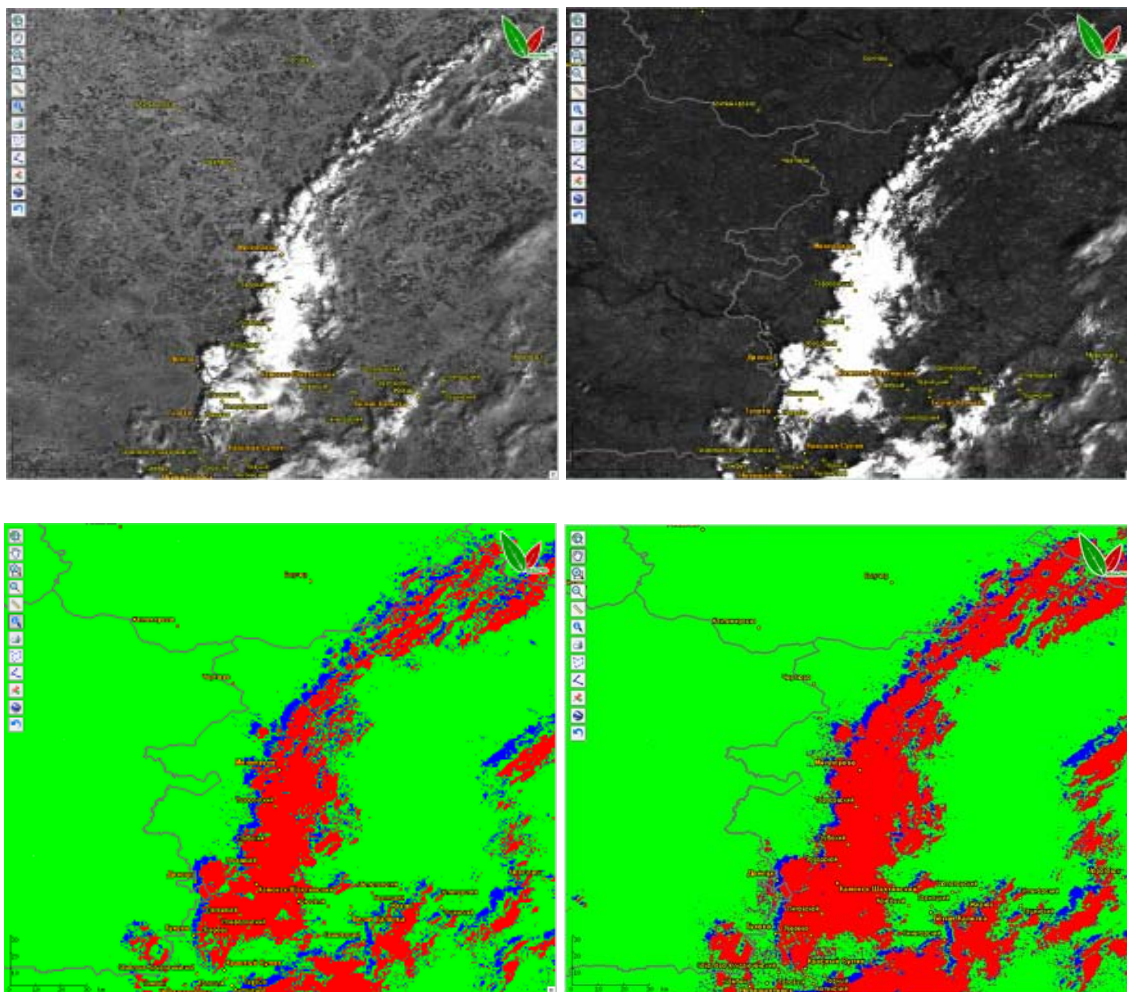


Рисунок 2.2.4 — Исходные изображения КМСС от 13.08.2018 в БИК (слева) и в красном (справа) диапазонах длин волн и соответствующие им (ниже) построенные в автоматическом режиме маски облачности (красный цвет) и теней (синий цвет); можно увидеть различие, ввиду параллакса, расстояние между облачностью и тенью на разноканальных изображениях

После формирования масок мешающих факторов становится возможным осуществить локализованное сравнение безоблачных участков изображения, соответствующих измерениям КМСС на верхней границе атмосферы с соответствующим участком изображения MODIS, полученного на основе восстановления ежедневных временных серий продукта MOD09 (эталон). Эталон MODIS, ввиду восстановления, не содержит пропущенных значений в весенне-осенний период, а результат восстановления максимально возможным образом соответствуют распределению спектрально-яркостных характеристик чистой поверхности (и на уровне земной поверхности) на дату съёмки прибором КМСС. Исходя из предположения, что рассеяние Ми, связанное с наличием аэрозолей и водяного пара в атмосфере, смещает яркости объектов (в сторону увеличения), производится локализованный анализ распределения яркостей объектов до достижения максимального соответствия с эталоном в виде MODIS. В процессе анализа рассчитываются коэффициенты линейной регрессии между двумя наборами данных для пересчета яркости объектов исходного изображения внутри скользящего окна, размеры которого позволяют описать состояние атмосферы для текущего участка земной поверхности. На рисунке 2.2.5 приведены гистограммы рассеяния между КСЯ по данным MODIS и исходными (слева) и прошедшими атмосферную коррекцию (справа) изображениями КМСС для региона размером несколько сотен километров в поперечнике.

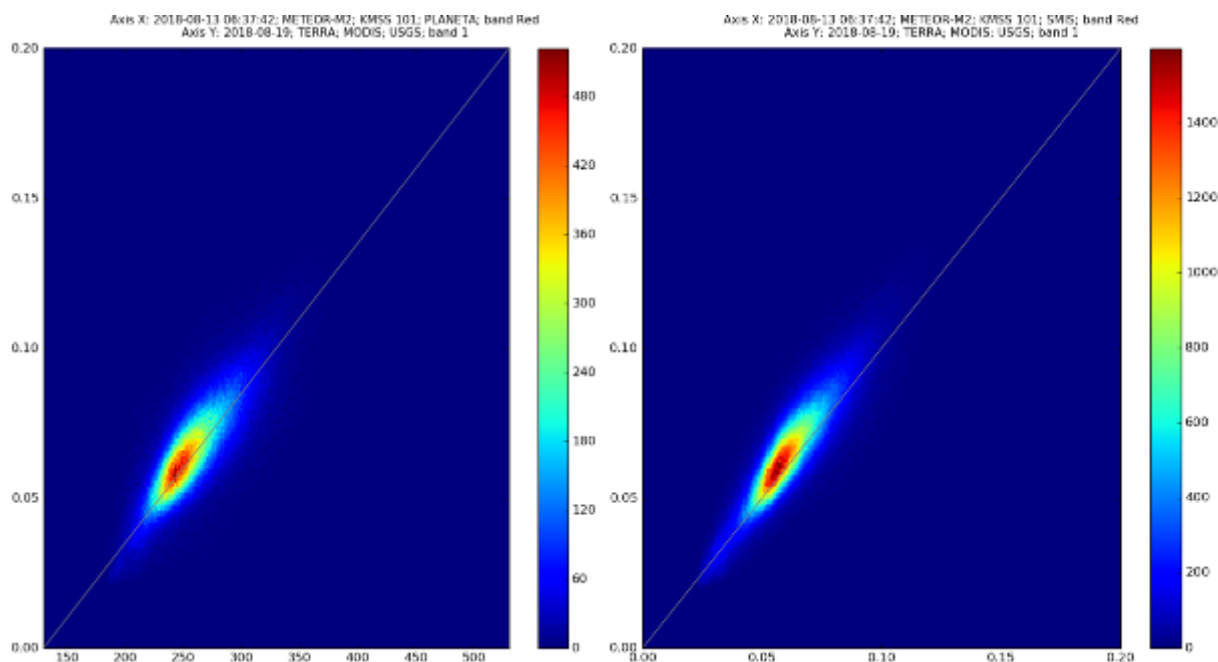


Рисунок 2.2.5 — Двумерные гистограммы КМСС-MODIS до коррекции (*слева*) и после коррекции (*справа*). По вертикальной оси отложены значения КСЯ на уровне земной поверхности по данным MODIS, по горизонтальной — исходные (*слева*) и преобразованные (*справа*) значения в изображениях КМСС

Двумерная гистограмма для исходных значений КМСС (*слева*) была вручную сдвинута и растянута так, чтобы линия 1:1 проходила примерно через центр облака, чтобы продемонстрировать различие динамических диапазонов значений до и после коррекции. В результате разработанных автоматических методов стало возможным формирование архива спутниковых данных КМСС, содержащих атмосферно-скорректированные на основе эталона MODIS измерения КСЯ, позволяющие формировать сезонные и многолетние временные серии для количественной оценки объектов земной поверхности, в том числе, на основе мультиспектральных и географически привязанных измерений и автоматически формируемых масок мешающих факторов.

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

Настоящий раздел посвящён развитию методов дистанционной оценки состояния сельскохозяйственных культур на основе использования модели эталона их сезонного развития.

Оперативная оценка состояния сельскохозяйственных культур зачастую основана на анализе величины отклонения текущей динамики вегетационного индекса от статистического эталона, полученного анализом данных многолетней статистики сезонного развития растений. Наиболее распространённым подходом является осреднение дистанционных показателей сезонного развития конкретной культуры за многолетний период с созданием достаточно устойчивого многолетнего эталона. Однако на его основе сложно автоматически учесть находящееся в условиях сезонных климатических особенностей (выраженное в отставании или опережении многолетнего среднего) относительно нормального развития сельскохозяйственных культур. Для более точной оценки аномалий необходимо учитывать все возможные межгодовые вариации погодных

условий, приводящие к значительным вариациям в датах сева, начале роста и динамике растений. Для построения инвариантной к этим факторам нормы на основе многолетних данных было необходимо доработать ранее разработанный метод построения эталонов.

Известно, что скорость развития растений зависит от температуры воздуха, и для достижения растениями определённой фазы роста необходимо накопление определенной суммы эффективных температур. Приведение временных рядов вегетационных индексов к единой шкале накопленных температур позволяет снизить эффект «сдвига сезона» и оценивать отклонение посевов от нормы в сопоставимых фазах их развития.

Перцентили дают легко интерпретируемую оценку отклонения поля от нормы, указывающую на его состояние в сравнении с историческими полями. Если текущее состояние поля лучше, чем состояния N% исторических полей на той же фазе развития, то можно сказать, что оно лежит в перцентиле N. Перцентиль, в который попадает поле, может использоваться для оценки текущего его состояния относительно репрезентативной исторической выборки, и установления порогов аномалий. Оценка аномалий на основе перцентилей позволяет в полной мере учесть статистику, на основе которой строится норма поведения культуры.

Предложенный метод оценки наличия аномалий состоит в сборе многолетней статистики динамики вегетационного индекса для репрезентативной выборки полей данной культуры, приведения их к единой шкале накопленных температур и сравнения значения NDVI исследуемого поля с историческими данными, а также использование перцентилей для оценки величины отклонения. Для исключения влияния случайных отклонений анализировалась устойчивость возникшей аномалии в течение 3-недельного интервала времени.

При наличии надёжной наземной информации о расположении и характеристиках сельскохозяйственных полей с аномалиями развития культур появляется возможность определить пороговые значения на перцентили, которые максимизируют процент детектированных аномалий и минимизируют ошибки 1-го и 2-го рода при отнесении поля к «аномальному» или «нормальному» состоянию. В частности, для каждого значения накопленных температур на опорных полях может быть построена статистика типичных значений NDVI, где низкие значения могут свидетельствовать об аномалии. Далее, для каждого наблюдения, нормированного на сумму температур, можно оценить отклонение и вероятность наличия аномалии.

Опорные данные были предоставлены ФБГУН «НИИСХ Крыма», находящегося на территории Республики Крым, где в 2018 было достоверно зарегистрировано достаточно много случаев аномалии развития посевов озимых культур из-за засухи в весенний период. Одновременное рассмотрение распределения всех полей и аномальных полей по величине выявленной аномалии позволяет вышеописанным образом определить пороговое значение величины аномалии (рисунок 2.3.1).

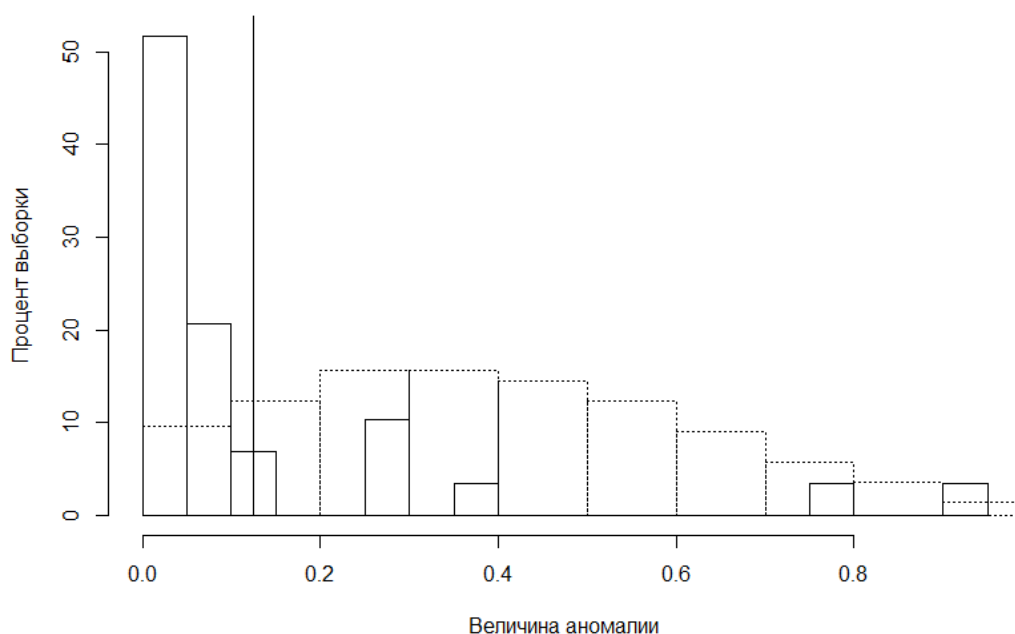


Рисунок 2.3.1 — Гистограмма величины аномалий. Сплошной линией показана гистограмма аномальных полей, прерывистой – для исходной статистики. Чёрная линия — величина наиболее оптимально определённого порога

Полученное в результате этого анализа пороговое значение перцентиля величины аномалии для озимой пшеницы составило 12,5. В результате была разработана методика выявления отклонений развития озимой пшеницы на основе перцентилей, которая состоит из следующих шагов:

1. Для каждого момента времени оценивается, в какой перцентиль попадает текущее значение NDVI анализируемого поля;
2. Проводится его осреднение в скользящем окне, позволяющее отфильтровать случайные временные аномалии в значениях NDVI;
3. Определяется, выходит ли вычисленный перцентиль за порог «аномалии».

По вышеописанной методике был проведён анализ состояния посевов озимой пшеницы и озимого ячменя для Республики Крым в 2018 году в условиях засухи конца апреля – начала мая. Валидация результатов детектирования аномалий проводилась на ряде тестовых полей в Красногвардейском и Белогорском районах, состояние которых в 2018 году было известно благодаря проведённым наземным обследованиям. В частности, обследованные поля были разбиты на две группы – с выявленными аномалиями развития (обычно списанные вследствие низкой урожайности) и без явных аномалий. В результате использования описанной методики для полей из обеих групп было корректно обнаружено наличие (рисунок 2.3.2) и отсутствие (рисунок 2.3.3) аномалий сезонного развития. Согласно наземным данным, поля с выявленными аномалиями в развитии озимых были списаны вследствие низкой урожайности.

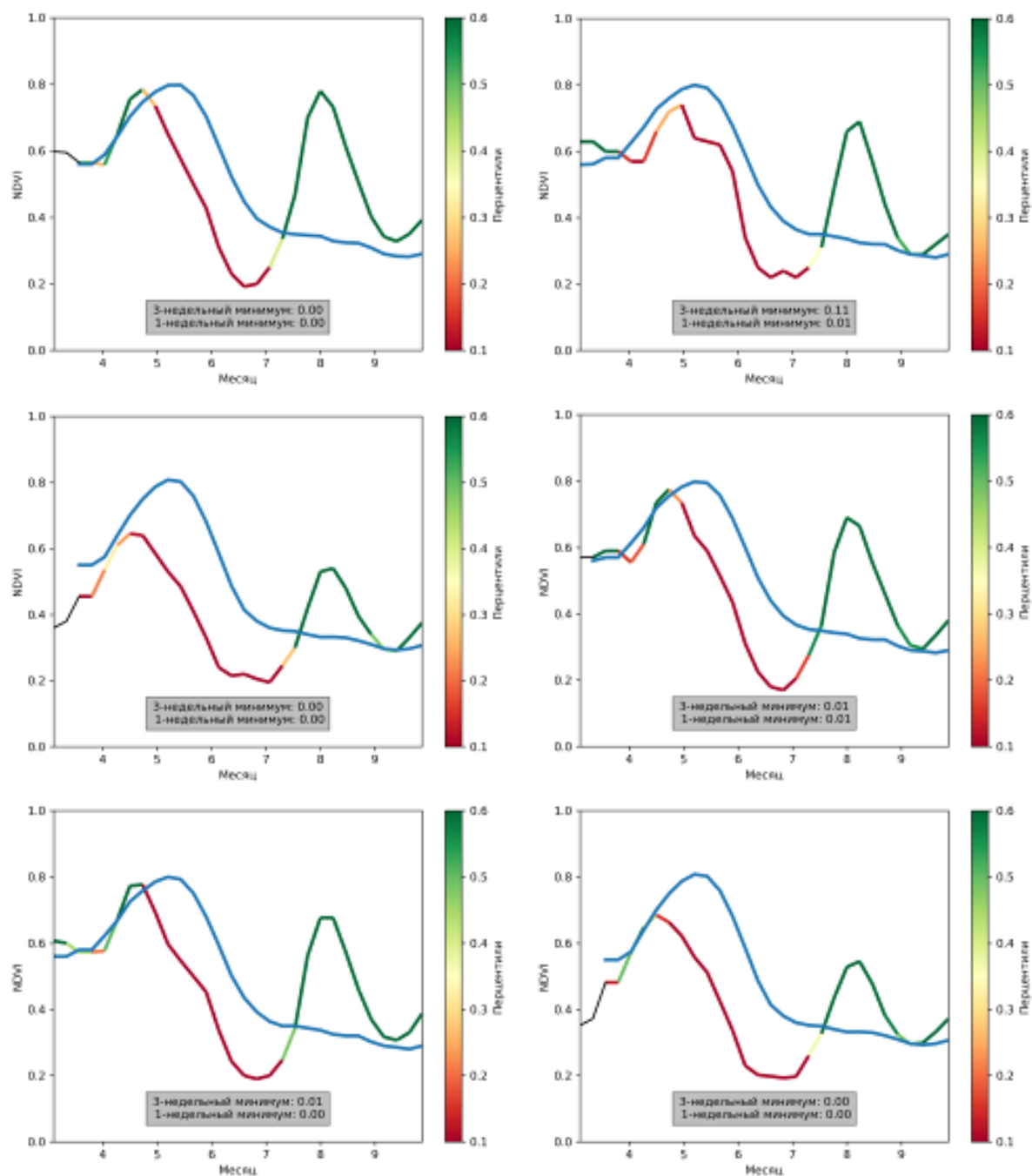


Рисунок 2.3.2 — Выявление аномалий развития озимой пшеницы в Крыму во время засухи 2018 года (в терминах перцентилей). Синяя линия — эталон озимой пшеницы. С начала мая наблюдаются отклонения от эталона

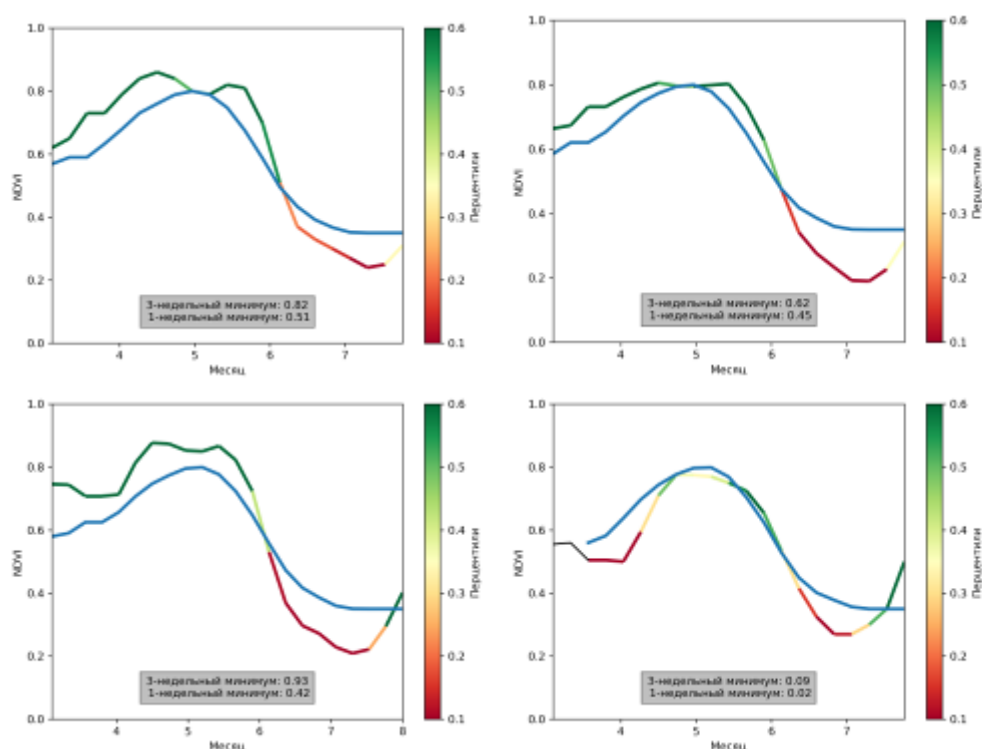


Рисунок 2.3.3 — Оценка состояния полей озимых, слабо пострадавших от засушливых условий 2018 года (поля были засеяны по пару). Синяя линия — эталон озимой пшеницы

Выполненные исследования показали, что аномалии в развитии некоторых культур, в случае, если они носят массовый характер на территории района и приводят к снижению урожайности, выявляются с помощью анализа временных рядов вегетационного индекса NDVI и с помощью оценки их отклонения от эталона, построенного методом нормировки фазы развития. Анализ результатов выборочной проверки, выполненной на основе данных наземного обследования, подтверждает применимость методов дистанционной оценки состояния посевов для выявления ситуаций их аномального развития.

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

В ИКИ РАН ранее был разработан метод ежегодного выявления озимых культур в весенне-летний период вегетации на основе временных серий спутниковых данных MODIS. Метод позволяет осуществлять независимое построение репрезентативной обучающей выборки на большие территории по классам «озимые», «яровые» и «чистый пар» на любой момент времени весенне-летнего сезона вегетации. Концепция метода предусматривает последовательное обновление и уточнение в оперативном режиме карт посевов озимых культур в весенне-летний период по мере их развития и появления новых свободных от влияния мешающих факторов спутниковых данных MODIS.

Указанный метод использует принцип автоматической пространственной экспансии обучающей выборки для её итеративного распространения от места инициализации на всю территорию устойчивого выращивания озимых. На каждой итерации происходит восстановление местного эталона фазовых характеристик описывающего локальные спектрально-динамические характеристики каждого из классов. Затем в ближайшей окрестности ведётся поиск и выявление находящихся на

используемых пахотных землях объектов соответствующего класса с похожими на локальный эталон фазовыми характеристиками. Схожесть фазовых характеристик оценивается с точки зрения величины коррелированности динамики временных серий дистанционных характеристик объектов, а также спектрально-динамического расстояния между ними. В свою очередь, выявленные объекты участвуют в формировании новых локальных эталонов, в том числе, расположенных на некотором расстоянии от эталонов предыдущей итерации. Итерации повторяются до тех пор, пока класс озимых является достаточно локально представленным. В частности, распространение выборки прекращается, если на текущей итерации становится невозможно найти новые репрезентативные эталоны, например, ввиду достижения границ зоны устойчивого выращивания озимых культур. Таким образом, основанный на принципе экспансии алгоритм позволяет создать актуальную опорную выборку по указанным классам на протяжённый пространственно-связанный регион континентального масштаба, – например, европейскую часть РФ и ряд восточноевропейских стран. На последнем этапе происходит распознавание озимых культур на основе созданной ранее опорной выборки, спектрально-динамических метрик и локально-адаптивной классификации методом Random Forest, реализованным в программном пакете LAGMA.

Сотрудничество ИКИ РАН с ФБГУН «НИИСХ Крыма» позволило собрать актуальную информацию о размещении полей с озимыми культурами в 2019 году, а также статистические данные о посевных площадях озимых на уровне районов (Красногвардейского и Белогорского). Благодаря этому оказалось возможным провести региональную валидацию получаемой методом экспансии обучающей выборки и карт озимых, выявить недостатки автоматического алгоритма и усовершенствовать его.

В частности, используя собранную информацию, было обнаружено, что в ряде случаев созревание озимых и ранних яровых может происходить практически одновременно, что приводит к сильной схожести временных серий вегетационного индекса для этих классов вскоре после достижения максимума зелёной биомассы (рисунок 2.4.1). Ввиду этого карты озимых, полученных по состоянию после момента уборки, могли уступать по точности более ранним оценкам из-за усиления перепутывания между классами озимых и ранних яровых. Для устранения этого недостатка алгоритм был модифицирован так, чтобы не учитывать фенологию классов при расчёте метрик схожести для дат после начала существенного снижения вегетационного индекса.

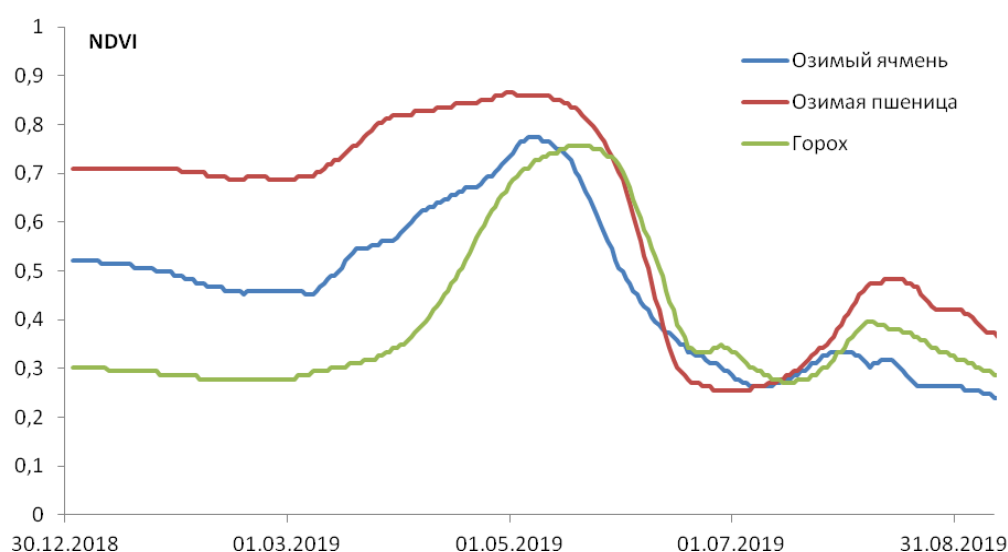


Рисунок 2.4.1 — Временные серии ежедневных восстановленных методом LOWESS значений NDVI некоторых озимых и яровых культур на соседних полях Красногвардейского района Крыма по данным прибора MODIS

Также был доработан этап автоматической инициализации выборки, результаты которого используется для начала экспансии. Выборка инициализируется на основе сегментации временной серии изображений перпендикулярного вегетационного индекса PVI и последующей кластеризации сегментов на основе гистограммного анализа на территорию гарантированного выращивания озимых (Краснодарский край, Ставропольский край, Ростовская область) в ранневесенний и весенний период, соответствующий интервалу дат с середины февраля до середины мая. Ранее автоматический анализ изображений в этом регионе происходил начиная с более ранних дат и заканчивая более поздними, прекращаясь после того как была достигнута необходимая репрезентативность выборки. Это приводило к тому, что выборка теряла актуальность, поскольку хронологически тяготела к более ранним датам, когда разделимость между классами не оптимальна, а недружные всходы озимых после зимнего периода могли быть причиной ошибочного отнесения ещё не развитых посевов к классу яровых или паров. В новой версии на этапе инициализации приоритет отдаётся более поздним или наиболее актуальным датам, а перед маркировкой кластера проводится анализ стабильности его предполагаемого класса на основе анализа разновременных изображений.

Для независимой валидации результатов картографирования озимых культур на территории двух районов Крыма, полученной автоматически обновлённым методом на основе спутниковых данных MODIS, была исключена неопределённость, вносимая использованием карты пахотных земель среднего (230 м) пространственного разрешения. Вместо карты пахотных земель среднего пространственного разрешения был использован векторный слой границ всех используемых полей Белогорского и Красногвардейского районов Крыма, созданный в ФГБУН «НИИСХ Крыма». Далее, результат автоматической классификации всей территории на три класса (озимые, яровые, чистые пары) бинаризовался до легенды «озимые/остальные» и фильтровался через векторные границы полей. Валидационная выборка была также бинаризована до двух целевых классов. Таким образом, в результате сопоставления карты озимых с валидационным эталоном были получены оценки общей точности классификации и точности пользователя и производителя (таблица 2.4.1).

Таблица 2.4.1 — Матрица ошибок и оценки точности для исходного (курсивом) и модифицированного метода распознавания озимых по данным MODIS на территорию региона исследования

Классы (источники)	Озимые (класс)	Остальное (класс)	РА
Озимые (назем)	146 248 / <i>141 406</i>	35 310 / <i>40 152</i>	0,806 / <i>0,779</i>
Остальное (назем)	17 081 / <i>20 259</i>	173 265 / <i>170 087</i>	
UA	0,895 / <i>0,875</i>		0,859 / <i>0,838</i>

П р и м е ч а н и е: РА — Producer accuracy (точность производителя), UA — User accuracy (точность пользователя), курсивом показаны результаты, полученные при помощи ранней версии метода распознавания, общая точность приведена в правом нижнем углу таблицы.

Сопоставление полученной опорной информации с картой озимых культур полученной по состоянию на 26 июня 2019 года позволило получить картину пространственного распределения ошибок распознавания (рисунок 2.4.2), а также рассчитать матрицу ошибок классификации с пространственным разрешением MODIS.

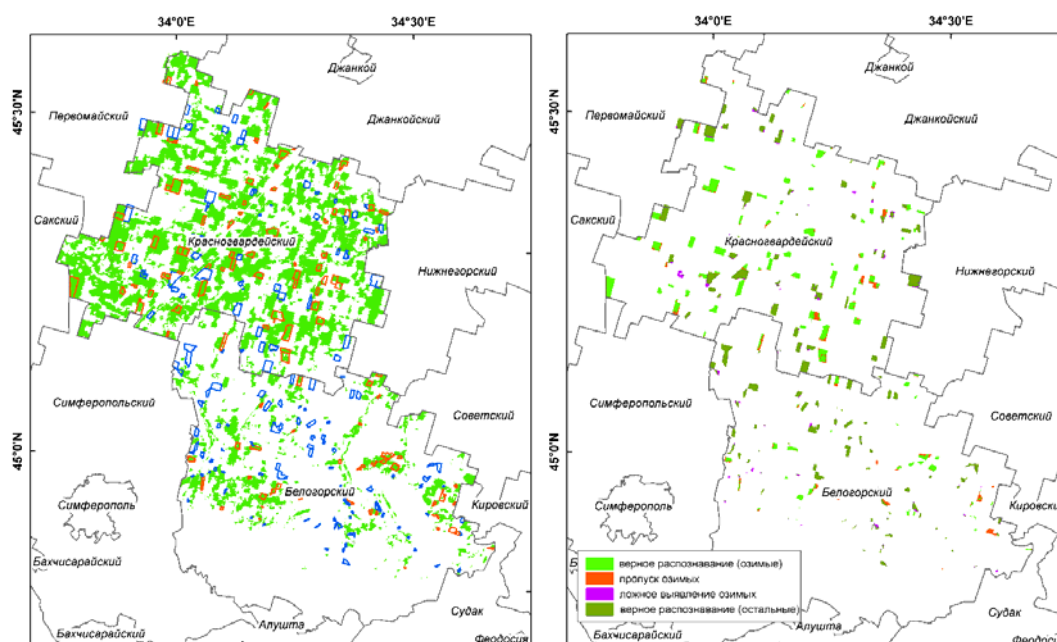


Рисунок 2.4.2 — Сопоставление карты озимых культур (зелёный цвет) с валидационными полями класса озимые (красный) и остальные классы (синий) (*слева*); пространственное распределение ошибок распознавания озимых (*справа*)

Несмотря на то, что районы заметно контрастируют с точки зрения агроклиматических и физико-географических условий произрастания озимых, соотношение ошибок распознавания между регионами практически не отличается при использовании точных границ сельскохозяйственных полей. По сравнению с картой озимых полученной предыдущей версией метода на тот же самый момент времени, можно отметить более высокие значения общей точности, а также точности пользователя и производителя (см. таблицу 2.4.1), что указывает на эффективность проведённых изменений.

Заключение

Выполнение научно-исследовательских работ по теме «Мониторинг-Биосфера» проведено в полном соответствии с утверждённым планом. В результате выполненных исследований и разработок в области спутникового мониторинга растительного покрова получил развитие метод восстановления временных серий безоблачных измерений земной поверхности по данным приборов MODIS и MSI на основе LOWESS. Был существенно улучшен метод построения нормированных на накопленные температуры эталонов сельскохозяйственных культур по данным ДЗЗ, позволяющий проводить более объективную оценку состояния, в частности, озимых культур на основе перцентилей. Были разработаны методы глубокой автоматической обработки спутниковых данных КМСС («Метеор-М» № 2) в области географической привязки, маскирования мешающих факторов и атмосферной коррекции с целью формирования мультиспектральных временных серий измерений для количественной оценки характеристики объектов земной поверхности и положено начало формирования архива скорректированных данных. Существенно доработан метод экспансии обучающей выборки, лежащий в основе метода оперативного ежегодного распознавания озимых культур на территории России.

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 2019 г. результаты также изложены в следующих публикациях [4-9, 15, 16, 29, 31, 37, 54, 62, 63, 96, 103, 104, 117, 133, 134, 136, 141-143, 179, 181, 182].

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

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

До настоящего времени процессы переноса скрытого тепла в атмосфере Земли и соответствующие методики их количественной оценки, разрабатываемые в отделе 55 ИКИ РАН, рассматривались только в поле интегральных влажностных характеристик атмосферы и их горизонтальных потоков. Одним из направлений качественного развития в области исследований процессов переноса скрытого тепла в атмосфере является переход к анализу трёхмерных полей влажности атмосферы и оценки не только горизонтальных, но и вертикальных потоков в них. Развитие исследований в этой области, до настоящего времени, было ограничено в силу отсутствия в свободном доступе соответствующих продуктов в виде глобальных трёхмерных полей влажности атмосферы хорошего качества.

Практически единственным источником информации о трёхмерных распределениях атмосферного водяного пара в глобальном масштабе и в частности в областях развития атмосферных катастроф таких как тропические циклоны являются данные микроволновых радиотепловых измерений из космоса. В настоящий момент на орбите присутствует 14 микроволновых радиометрических комплексов, которые позволяют получать информацию о вертикальном профиле влажности атмосферы, однако,

в свободном доступе калиброванные данные и соответствующий продукт можно получить только от прибора SAPHIR, находящегося на борту КА Megha-Tropiques. Данные этого прибора плохо пригодны для исследования глобальных атмосферных процессов, поскольку наклонение орбиты спутника таково, что обеспечивает измерения в узком широтном интервале тропической зоны $\pm 15^\circ$ от экватора.

В результате сотрудничества 55 отдела ИКИ РАН с АО «Российские космические системы» и И.В. Чёрным удалось получить радиометрические данные прибора МТВЗА-ГЯ, который, на сегодняшний день является единственным отечественным микроволновым радиометрическим комплексом, присутствующим на орбите. Данные были получены за 2015–2016 гг. с прибора МТВЗА-ГЯ, который был запущен в 2014 г. на борту КА «Метеор-М» № 2-1 и успешно функционировал до 2017 г. МТВЗА-ГЯ имеет 29 радиометрических каналов и теоретически позволяет восстанавливать как интегральные характеристики атмосферной влажности, так и их высотные распределения до высот порядка 6–7 км. Полярная орбита КА «Метеор-М» совместно с большим углом сканирования МТВЗА-ГЯ обеспечивают глобальное покрытие земного шара измерениями два раза в сутки с пространственным разрешением 32×32 км.

На основе полученных данных были разработаны алгоритм восстановления интегрального паросодержания и первый вариант алгоритма восстановления профиля влажности атмосферы. Алгоритм восстановления интегрального паросодержания подробно изложен в работе (Пашинов, 2018). С помощью него удалось проверить качество радиометрических данных МТВЗА-ГЯ в сравнении с данными зарубежных спутниковых радиометров, а также получить глобальные поля интегрального паросодержания атмосферы и анимацию их динамики за 2015–2016 гг. Один кадр из полученной анимации приведён на рисунке 3.1.1.1. На анимацию кружками нанесены области глаза тропических циклонов, взятые из работы (Покровская, Шарков, 2016).

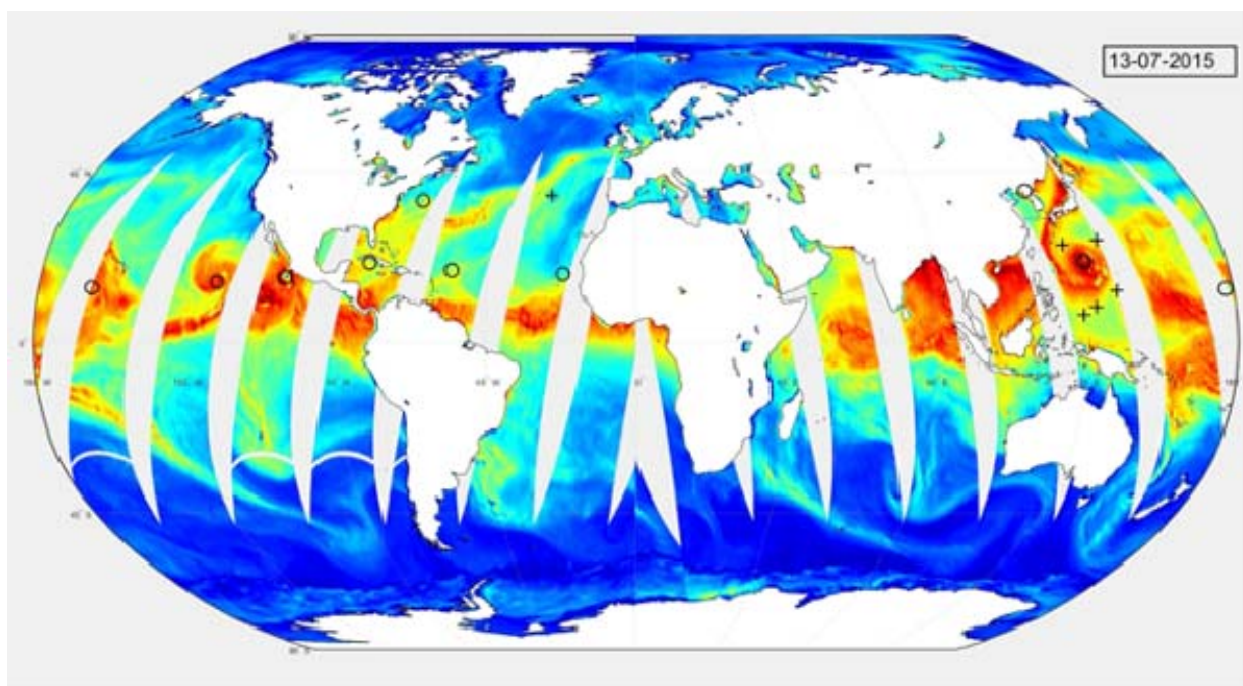


Рисунок 3.1.1.1 — Глобальное поле интегрального паросодержания атмосферы по данным МТВЗА-ГЯ «Метеор-М» № 2-1

Следующим этапом обработки данных МТВЗА-ГЯ является разработка алгоритма восстановления глобальных трёхмерных полей атмосферной влажности. В настоящее время работа по созданию такого алгоритма ещё ведётся, но уже получены некоторые результаты. Был предложен нейросетевой алгоритм, позволяющий оперативно проводить

восстановление влажности в пяти атмосферных слоях от 0 до 5 км. С помощью разработанного алгоритма были построены глобальные поля концентрации водяного пара на пяти уровнях атмосферы и анимация их динамики за 2015–2016 гг. Пример одного кадра такой анимации на четырёх уровнях атмосферы представлен на рисунке 3.1.1.2. Данные анимации хорошо иллюстрируют изменение с высотой плотности водяного пара в материнских полях тропической зоны. На них хорошо различимы атмосферные реки и тропические циклоны, которые осуществляют перенос влаги и запасённой в ней энергии практически во всей толще тропосферы.

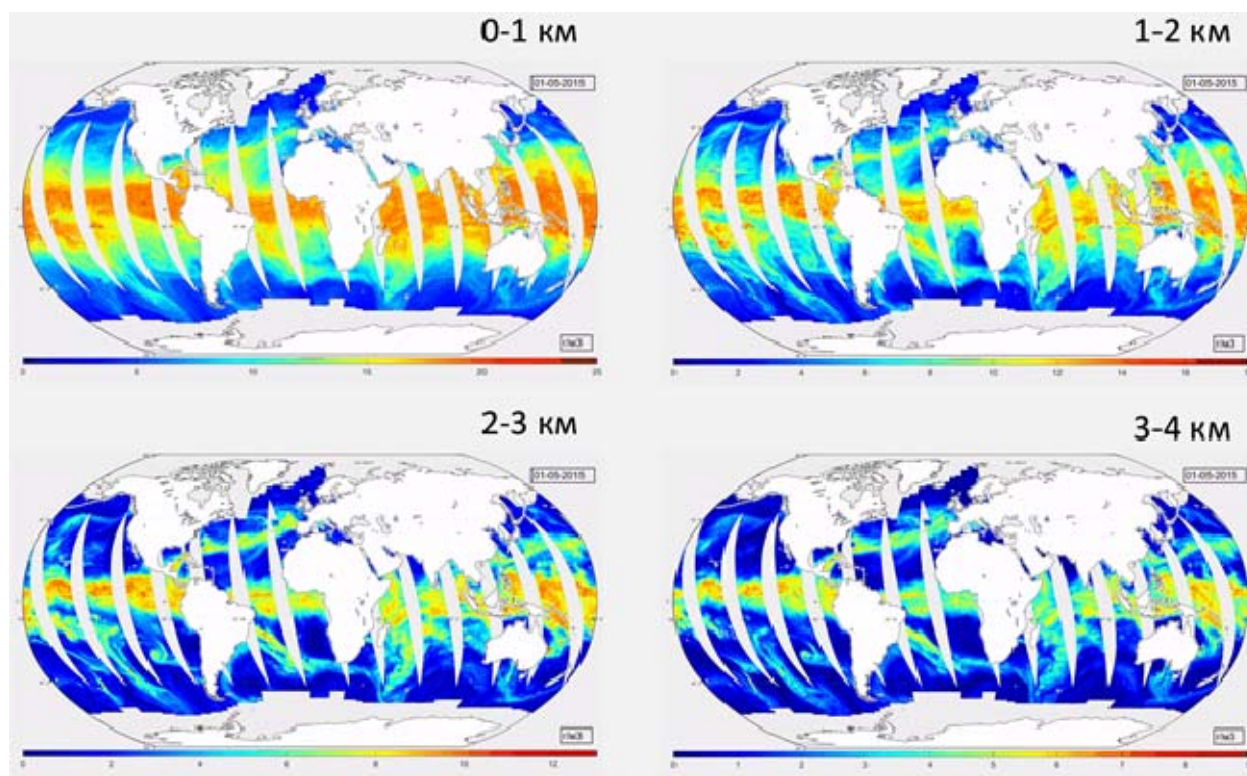


Рисунок 3.1.1.2 — Глобальные послойные поля атмосферного водяного пара, полученные по данным МТВЗА-ГЯ «Метеор-М» № 2-1

Разработанный алгоритм пока работает только над поверхностью океана. В будущем планируется его усовершенствование для восстановления трёхмерных полей влажности надо льдом и сушей. Так же, будет исследована возможность восстановления более высоких слоёв тропосферы, поскольку известно, что верхняя граница стены глаза ТЦ может достигать высот порядка 10–12 км.

Так же нужно отметить, что следующий прибор МТВЗА-ГЯ был запущен в 2019 г. и пока проходит лётные испытания и отработку методик калибровки. При условии соответствия характеристик старого и нового приборов МТВЗА-ГЯ и хорошего качества калибровки данных существует возможность применения разработанных алгоритмов для прибора 2019 г. запуска. Это позволит обеспечить ряд данных (хоть и с разрывом в один год) об атмосферной влаге в глобальном масштабе за пять лет наблюдений, что является большим достижением для отечественных пассивных микроволновых систем спутникового ДЗЗ.

3.1.2 Применение электродинамической модели радиоизлучения природных слоистых сред для анализа пространственно-временных характеристик морского льда Арктики и ледяного покрова крупных пресноводных озёр по данным многочастотной микроволновой спутниковой радиометрии для решения задач изучения изменчивости климатических параметров планеты

Работа выполнялась совместно с ААНИИ (Санкт-Петербург) и ИФА РАН (Москва).

Изменение климата — одна из самых существенных и серьёзных проблем, с которыми человек сталкивается в 21 столетии. Морской лёд полярных регионов играет важную роль в климатической системе Земли, поскольку чувствительность к температурным колебаниям, делает его хорошим ранним индикатором климатических изменений. Учитывая труднодоступность полярных регионов и разреженную сеть полярных станций, большое значение приобрели дистанционные методы исследования морского льда. Пассивные микроволновые датчики, расположенные на борту искусственных спутников Земли, позволяют контролировать и исследовать распределение морского льда полярных регионов на глобальной основе, не зависимо от времени суток и погодных условий уже более сорока лет.

Получаемая от спутников информация нуждается в обработке и интерпретации. Для этого используются различные алгоритмы восстановления характеристик морского льда по данным спутниковой микроволновой радиометрии. Основными характеристиками морского льда, определяемыми с помощью таких алгоритмов, являются: сплочённость льда (отношение площади льдин в зоне, где они распределены сравнительно равномерно, к общей площади этой зоны) и ледовитость (процент площади, занятой льдом любой сплочённости по отношению к общей площади региона). Эти характеристики являются важнейшими индикаторами глобальных климатических изменений.

В настоящее время существует большое количество (около 30) алгоритмов для анализа сплочённости морского льда по данным спутниковых микроволновых радиометров. Анализ определения сплочённости ледяного покрова по разным алгоритмам, сравнение результатов между собой, с данными оптического диапазона и радиолокационными снимками, а также с данными визуальных корабельных наблюдений показывает, что погрешность современных алгоритмов достигает 10 %. В период летнего таяния и осеннего замерзания эта погрешность сильно увеличивается, достигая иногда 50 %. Ошибка в определении общей площади морского льда по этим алгоритмам достигает 1,3 млн кв. км.

В течение многих лет Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт (ААНИИ) накапливал базу данных специальных наблюдений с судов, с использованием оригинальной методики непрерывного наблюдения за ледяным покровом и определения границ однородных ледовых зон.

Впервые эти данные были использованы для сравнения с данными спутниковой микроволновой радиометрии. Для этих целей были использованы широко известные алгоритмы NASA Team (NT) (США) и ARTIST Sea Ice (ASI) (Евросоюз). Кроме этих двух широко применяемых на практике алгоритмов к сравнению был привлечён новый алгоритм, разработанный в ИКИ РАН — Variation Arctic/Antarctic Sea Ice Algorithm (VASIA2). Для сравнения использовалась база данных визуальных судовых наблюдений за ледяным покровом, полученная во время 15 экспедиций в Арктике, выполненных сотрудниками ААНИИ.

Сравнение общей сплочённости льда, полученной по данным спутниковой микроволновой радиометрии (Csmr), с общей сплочённостью льда, полученной во время наблюдений с судна (Cso), было выполнено отдельно для летнего и зимнего сезонов. Также было проведено сравнение Csmr со сплочённостью ледяного покрова, полученной во время экспедиций, из которой были исключены новые типы льда и нилас (лёд

толщиной до 10 см) (C_{so-ni}). Сравнение проводилось по различным градациям сплочённости морского льда: редкие (1–3 балла), разреженные (4–6 баллов), сплочённые (7–8 баллов), очень сплочённые (9–10 баллов) и сплошные льды (10 баллов), отдельно для летнего и зимнего сезонов.

На рисунке 3.1.2.1 показаны гистограммы распределения разности между C_{smr} , рассчитанной по трём алгоритмам и C_{so} ($C_{smr} - C_{so}$), а также разность между C_{smr} и C_{so-ni} ($C_{smr} - C_{so-ni}$) для летнего и зимнего сезонов. Диаграммы рассеяния и корреляции между C_{so} и C_{so-ni} с C_{smr} представлены на рисунках 3.1.2.2 и 3.1.2.3.

По всем алгоритмам не существует явной переоценки/недооценки сплочённости для открытого льда (4–6 баллов) ни летом, ни зимой. Открытый лёд чаще всего встречается в краевых ледовых зонах, которые считаются наиболее проблемными зонами для определения сплочённости по данным спутниковой микроволновой радиометрии. В этом случае алгоритмы могут, как недооценивать, так и переоценивать сплочённость льда. Относительно небольшие ошибки, показанные на рисунке 3.1.2.1, фактически являются результатом примерно одинакового количества высоких положительных и высоких отрицательных ошибок, компенсирующих друг друга. Это показано на рисунке 3.1.2.2. Особого внимания заслуживают зоны очень сплочённого и сплошного льда (9–10, 10 баллов). Здесь C_{smr} , рассчитанная по ASI и VASIA2, показывает хорошую согласованность с C_{so} для летнего и зимнего сезонов. Эти алгоритмы занижают сплочённость на 1,0 (ASI) и 0,5 (VASIA2) баллов летом, на 1,5 (ASI) и 0,5 (VASIA2) баллов зимой. NT недооценивает SIC на 1,9 балла летом и на 1,3 балла зимой. В таблице 3.1.2.1 представлены коэффициенты корреляции, средние ошибки и среднеквадратические отклонения между корабельными и спутниковыми данными в летний и зимний периоды. Для ASI и VASIA2 коэффициенты корреляции летом выше, чем зимой, среднеквадратические отклонения для ASI зимой выше, чем летом, а для VASIA2 они остаются неизменными. Для NT статистика практически одинакова как летом, так и зимой. Таким образом, C_{smr} , рассчитанная по ASI и VASIA2, лучше соответствует данным корабля летом по сравнению с зимой, в то время как NT не показывает какой-либо конкретной разницы между летними и зимними оценками SIC.

Таблица 3.1.2.1 — Статистика сравнения между спутниковыми и корабельными данными

Summer			
	NT (25 km) C_{so} / C_{so-ni} (8 % of new ice and nilas in total C_{so})	ASI (12.5 km) C_{so} / C_{so-ni} (9 % of new ice and nilas in total C_{so})	VASIA2 (12.5 km) C_{so} / C_{so-ni} (9 % of new ice and nilas in total C_{so})
Coefficient of determination (R^2)	0.74 / 0.71	0.81 / 0.79	0.65 / 0.62
Average error, tenths	–0.4 / 0	–0.3 / +0.1	–0.3 / +0.1
Standard deviation, tenths	2.1 / 2.1	1.8 / 1.9	2.6 / 2.8
Winter			
	NT (25 km) C_{so} / C_{so-ni} (24 % of new ice and nilas in total C_{so})	ASI (12,5 km) C_{so} / C_{so-ni} (28 % of new ice and nilas in total C_{so})	VASIA2 (12,5 km) C_{so} / C_{so-ni} (28 % of new ice and nilas in total C_{so})
Coefficient of determination (R^2)	0.73/0.59	0.62/0.62	0.46/0.37
Average error, tenths	–0.4/+1.1	–0.8/+1.0	+0.2/+1.4
Standard deviation, tenths	2.2/2.6	2.7/2.6	2.6/3.0

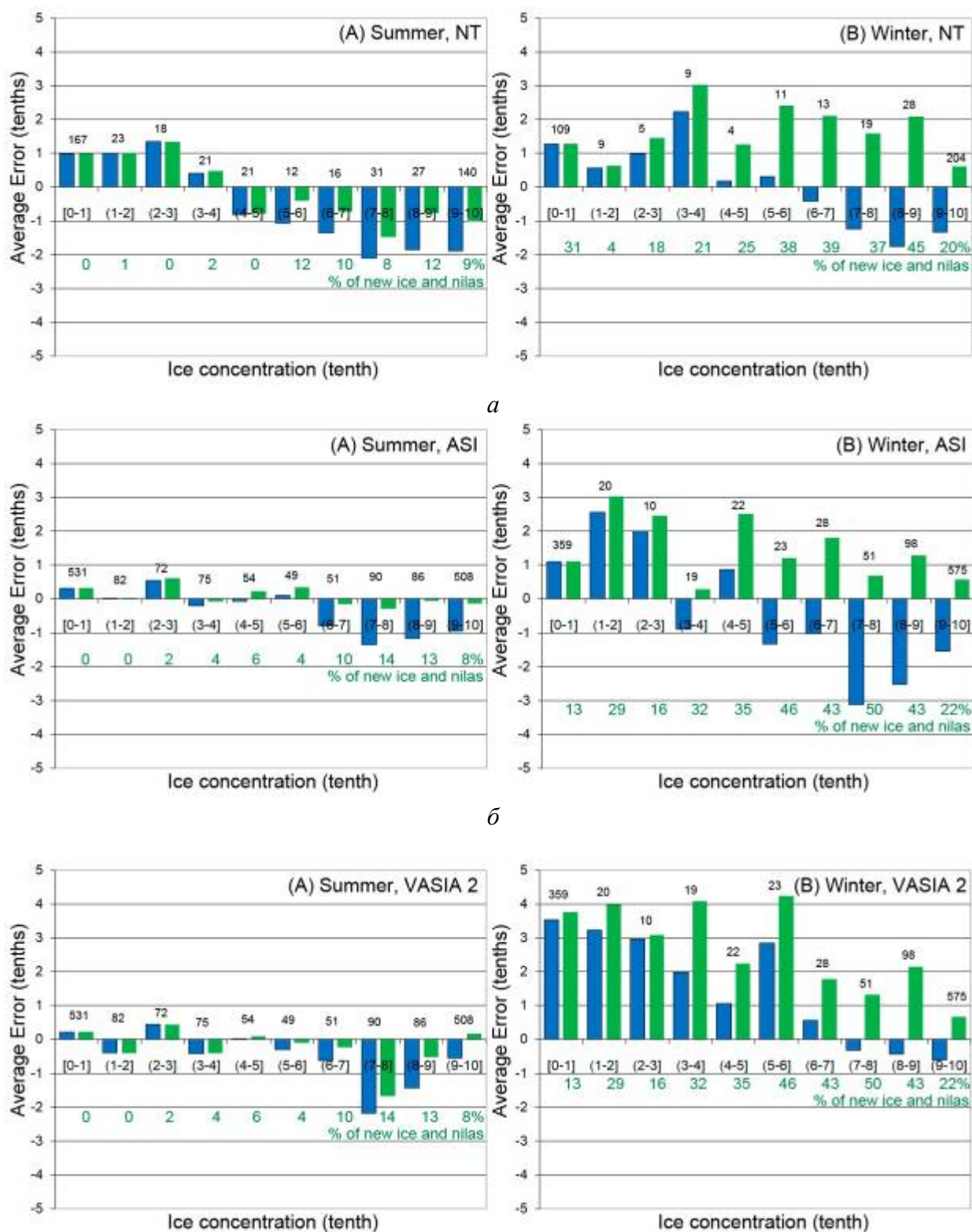


Рисунок 3.1.2.1 — Распределение средней ошибки сплочённости льда, полученной по трём алгоритмам и корабельным данным в летний и зимний сезоны (in tenths — баллы).

Синие столбцы обозначают Csmr-Cso, зелёные столбцы — Csmr-Cso-ni. Число используемых пикселей показано над каждым диапазоном сплочённости. Зелёные числа показывают процентное содержание нового льда и ниласа в Cso для каждого диапазона сплочённости

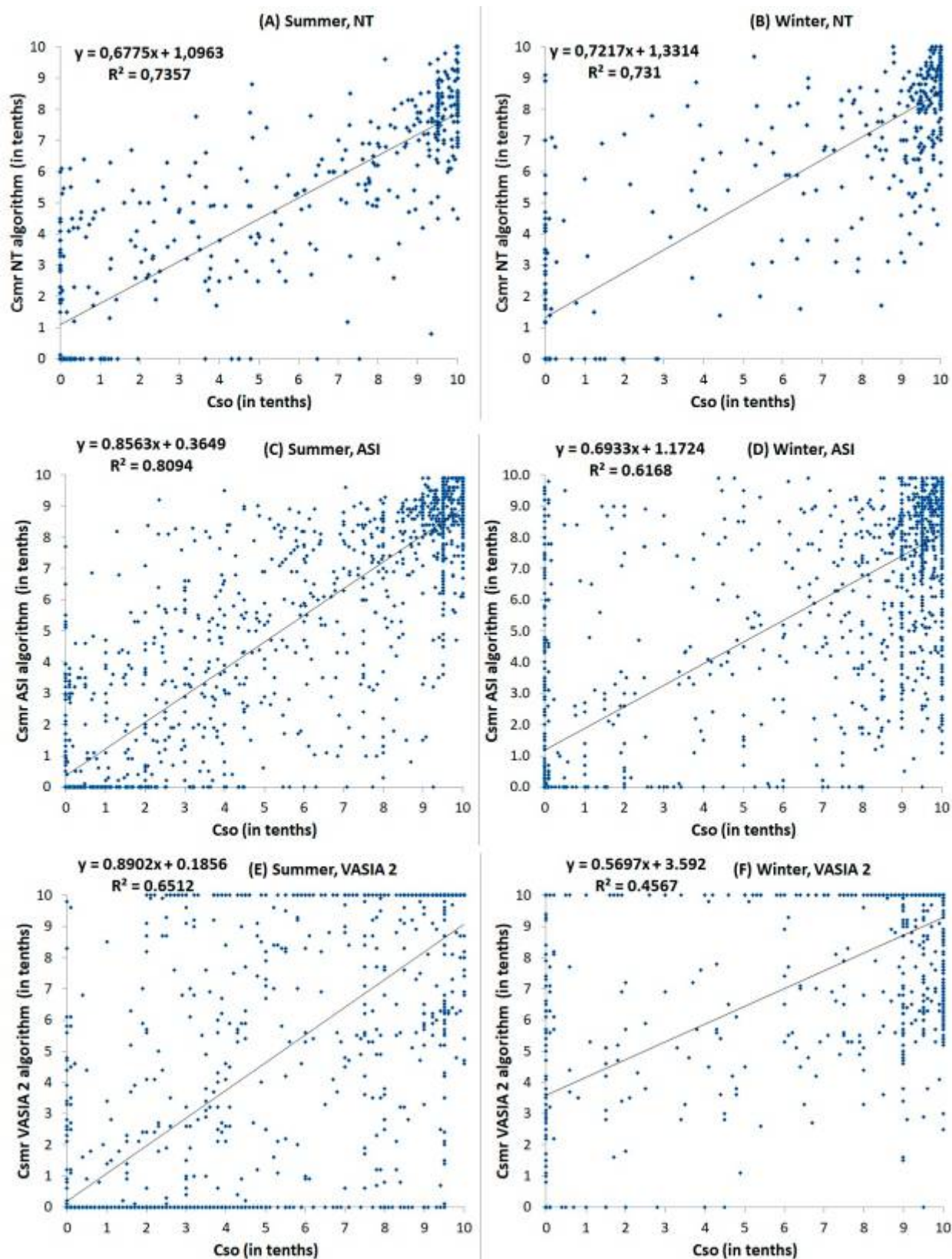


Рисунок 3.1.2.2 — Наблюдаемые Cso против Csmr, полученные по алгоритмам NT, ASI и VASIA2 летом и зимой (in tenths — баллы)

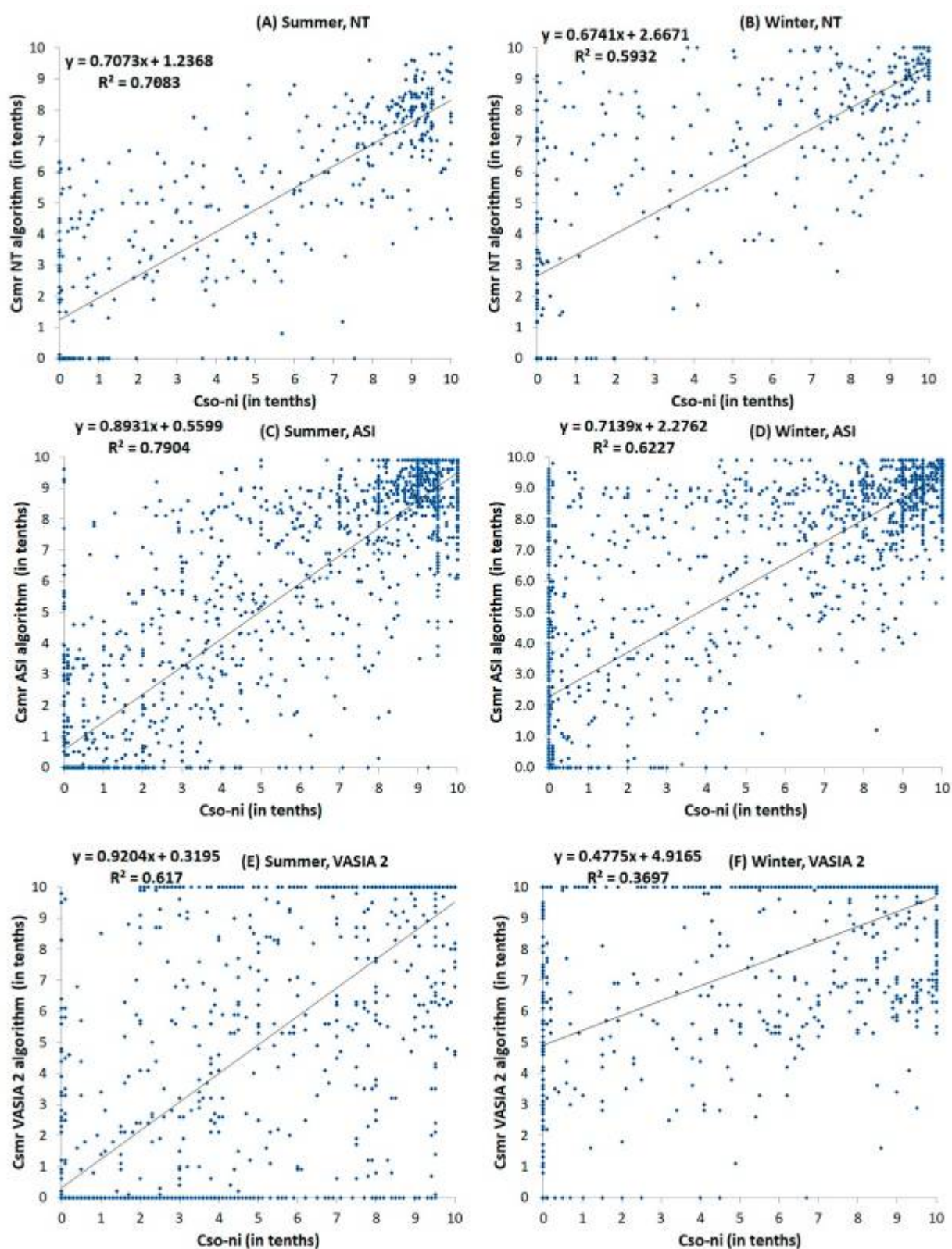


Рисунок 3.1.2.3 — (А–F) Наблюдаемые Cso-ni против Csmr, полученные по алгоритмам NT, ASI и VASIA2 в летний и зимний сезоны (in tenths — баллы)

При вычитании сплочённости нового льда и ниласа из общей сплочённости, определённой визуально с корабля летом, средняя ошибка увеличивается от -0.4 до 0 баллов для NT, в то время как для ASI и VASIA2 она изменяется от отрицательной к положительной, т.е. от -0.3 до $+0.1$ балла (см. таблицу 3.1.2.1). Аналогичный анализ

зимних данных дает средние ошибки от $-0,4$ до $+1,1$ балла для NT, от $-0,8$ до $+1,0$ балла для ASI и от $+0,2$ до $+1,4$ балла для VASIA2. В отличие от летнего периода удаление нового льда и ниласа из зимнего Cso увеличивает среднюю ошибку.

Сравнения летних Csmr-Cso и Csmr-Cso-ni на рисунке 3.1.2.1 показывают, что средние ошибки для редких и разреженных льдов остаются неизменными. Это объясняется отсутствием новых льдов и ниласа в редких и разреженных льдах в летних наблюдениях (процентное содержание новых льдов и ниласа в Cso представлено зелеными цифрами на рисунке 3.1.2.1). Для сплоченных, очень сплоченных и сплошных льдов, когда новый лёд и нилас достигают 10–14 % в Cso летом, разница между спутниковыми и корабельными данными уменьшается. Разница между Cso (синие столбцы) и Cso-ni (зеленые столбцы) для сплоченного, очень сплоченного и сплошного льда на гистограммах для NT составляет 0,5–1,1 балла, для ASI 0,8–1,1 балла, для VASIA2 0,7–0,9 балла (для сплошного льда, VASIA2 переоценивает сплоченность, в отличие от NT и ASI). Это также хорошо показано на диаграммах рассеяния (рисунок 3.1.2.3).

Сравнивая рисунки 3.1.2.2 и 3.1.2.3, можно увидеть, как изменяется положение линии тренда при удалении нового льда и ниласа из Cso: правый конец линии поднимается до более высоких значений Csmr. Также уменьшено количество точек в правом нижнем углу, что отражает недооценку Cso всеми тремя алгоритмами для сплошного льда. Эта закономерность объясняется тем, что в конце лета – начале осени образование новых льдов и ниласа в массивах старых льдов не может быть достоверно определено по данным спутниковой микроволновой радиометрии. Однако для зимних и весенних месяцев вычитание новых льдов и ниласа из общей сплоченности льда, когда их образование происходит повсеместно, приводит к значительному увеличению средней ошибки. Из-за низкой температуры воздуха и переохлажденной воды первоначальный лёд быстро увеличивается в толщине и покрывает почти всю свободную поверхность моря, в отличие от слабого и спорадического образования льда летом. Соответственно, такие начальные льды и нилас, включенные в общую сплоченность, наблюдаемую во время зимних экспедиций, лучше обнаруживаются с помощью спутниковой микроволновой радиометрии.

Проведенные исследования показывают, что вычитание концентрации нового льда и ниласа из общей сплоченности ледяного покрова, определенной из наблюдений с судов, уменьшает среднюю ошибку в летний сезон. Это означает, что алгоритмы плохо определяют новый лёд и нилас, образовавшиеся среди старых льдов в период нерегулярного образования льда в конце лета – начале осени. Зимой пассивные микроволновые методы дистанционного зондирования определяют новый лёд и нилас лучше, чем летом, поэтому вычитание нового льда и ниласа из общей оценки сплоченности не приводит к уменьшению средней ошибки.

Анализ показывает, что новый алгоритм VASIA2 имеет как преимущества, так и недостатки по сравнению с алгоритмами NT и ASI. Результаты, полученные в этом исследовании, будут использованы для улучшения алгоритм VASIA2. Чтобы получить детальную картину того, как характеристики поверхности льда влияют на результаты различных алгоритмов, необходим комплексный анализ с использованием большего количества полевых данных по физике льда.

Таким образом, благодаря большому объёму данных специальных судовых наблюдений ААНИИ, которые проводились в летний и зимний периоды, полученные результаты позволили оценить закономерности в определении общей сплоченности по данным спутниковой микроволновой радиометрии. Использовать данные спутниковой микроволновой радиометрии в оперативных целях (для судоходства) следует крайне осторожно и лишь при отсутствии других источников спутниковых данных с большим пространственным разрешением (видимый, инфракрасный диапазоны и RSA). Для решения крупномасштабных научных задач данные спутниковой микроволновой радиометрии являются одним из самых важных источников информации о ледяном

покрове, поскольку представляют собой самый длинный ряд наблюдений — более 40 лет. В этом случае необходимо использовать полученные средние ошибки для коррекции данных. Это положение является особенно актуальным при исследовании климатических изменений, основанных на анализе количества и распределения морского льда. Выявленные ошибки в регистрации сплочённости льда могут существенно повлиять на оценку масштабов изменения ледяного покрова в Северном Ледовитом океане, наблюдаемого в последние годы.

3.1.3 Исследование фенологии ледяного покрова крупных эстуариев сибирских рек дистанционными радиотепловыми методами

Российская Арктика привлекает внимание специалистов не только в связи с климатическими изменениями, но также с все более масштабными разработками крупных месторождений нефти и газа, которые влекут за собой обострение экологических проблем в регионе. Крупнейшие реки Арктики, такие, как Обь, Енисей, Лена, Северная Двина, Печора и др. рассматриваются как важнейшие источники поставки в Северный Ледовитый океан дополнительного тепла, а также материала континентального происхождения, включая загрязняющие вещества. Эстуарии арктических рек представляют собой уникальные экосистемы, находящиеся в условиях сложного взаимодействия речных и морских факторов. Они характеризуются сильной изменчивостью и сильной экологической уязвимостью, но при этом обладают значительными природными ресурсами, играющими важную роль в экономике прибрежных регионов. Эстуарии Арктики подвержены очень сильным сезонным воздействиям с существенными колебаниями температуры, солнечной освещённости, ледяного покрова, накоплением воды в снегу, биогенной нагрузки и множеством других факторов, включая антропогенные и техногенные воздействия. Лёд эстуариев играет важную роль в регулировании наводнений, речного стока, смешивания вод, концентраций растворенных и твёрдых частиц, энергетического обмена моря и атмосферы, а также газообмена. Постоянная оперативная информация о гидрологическом режиме эстуариев арктических рек является важнейшим источником при анализе различных природных и климатических процессов, а также оценке интенсивности и мощности антропогенного и техногенного воздействия на прилегающие территории.

Для выявления характерных особенностей сезонной динамики собственного микроволнового излучения эстуариев Арктики использовалась Обская губа, являющаяся самым большим эстуарием севера России и имеющая наиболее репрезентативные характеристики. Обская губа — самый крупный залив Карского моря, расположен между полуостровами Гыданский и Ямал. Обская губа — гигантский водоём длиной около 800 км, шириной 30–90 км, максимальная его глубина не превышает 28–30 м, но на большей части акватории колеблется в диапазоне 10–15 м. Общая площадь составляет 40 800 кв. км, а объём — 400 куб. км. В пресноводной своей части в период высоких вод он напоминает реку, а низких — водохранилище или озеро. Область контакта с солёными водами Карского моря (фронтальная зона) подвижна, а её речная граница смещается на юг к концу зимы до 300 км. Обская губа практически целиком находится в пределах тундровой зоны. Период под ледоставом в среднем составляет около девяти месяцев в году. В Обской губе происходит соприкосновение двух первичных водных масс — речной и морской, образующих зону смешения, южная часть которой занимает северную часть губы, а северная уходит далеко в устьевую зону приёмного водоёма (Карского моря). Таким образом, в рамках собственно Обской губы можно выделить две большие области с подвижными границами. Первая — это «речная» область, лишённая контакта с солёными морскими водами, процессы в которой определяются главным образом речным стоком. Вторая область, которая названа «морской», представляет собой часть зоны смешения

(фронтальной зоны), ограниченной с юга на своей речной границе изогалиной солёности (минерализации) в 0,5 ‰. Между этими двумя большими областями располагается промежуточная область, испытывающая периодическое влияние со стороны фронтальной зоны за счёт ветровых нагонов и приливов (рисунок 3.1.3.1).

В качестве спутниковой информации были использованы данные радиометра MIRAS (Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis) спутника SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) — продукт L1C SMOS версии v.620. Данные продукта L1C привязаны к дискретной гексагональной геодезической сетке DGG ISEA 4H9. Линейный размер ячейки составляет 15 км. Продукт L1C строится на основе данных радиометра MIRAS спутника SMOS с длиной волны 21 см (частота 1,4 ГГц) и разрешающей способностью ~35×50 км для вертикальной и горизонтальной поляризации под углом 42,5°.

Исследования динамики яркостной температуры трёх участков Обской губы за период с 01.01.2012 по 31.10.2016 (рисунок 3.1.3.2) выявили ряд характерных особенностей. Было обнаружено, что если в пресноводной части Обской губы (устье реки и центральная часть — участки 1 и 2 на рисунке 3.1.3.2) наблюдается схожая с пресноводными озёрами динамика яркостной температуры, то в «морской» части Обской губы (участок 3 на рисунке 3.1.3.2) эта динамика нарушается.

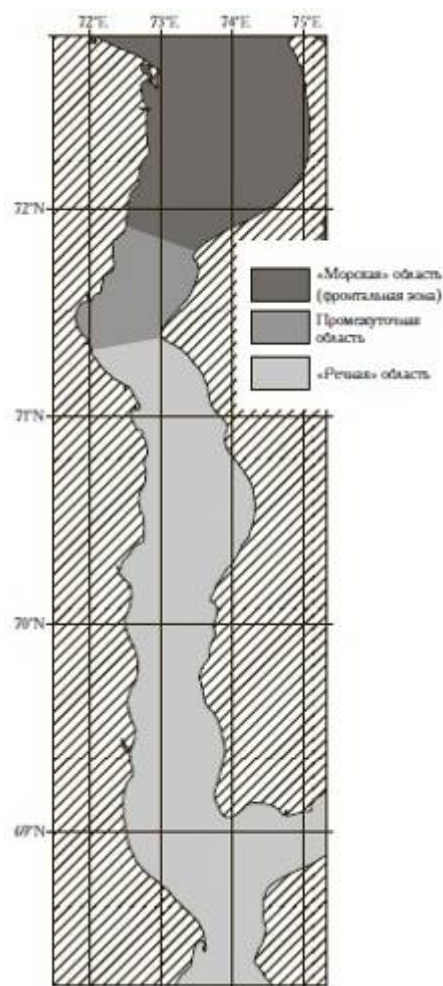


Рисунок 3.1.3.1 — Районирование акватории Обской губы



Рисунок 3.1.3.2 — Исследуемые участки Обской губы. Шестиугольниками показаны приблизительные ячейки продукта L1C SMOS. На вкладке сверху слева указаны координаты центра исследуемых участков

Ранее были исследована динамика яркостной температуры различных участков крупных пресноводных озёр (Байкал, Ладожское, Большое Медвежье, Большое Невольничье) по данным радиометра MIRAS (1,4 ГГц) спутника SMOS. Сопоставление спутниковых данных с модельными расчётами позволило выявить для замерзающих пресноводных озёр три временные области значений яркостной температуры: первая область (1) связана с излучением свободной ото льда водной поверхности; вторая (2) — с установившимся на поверхности озёр ледяным покровом; а третья область (3), характеризующаяся кратковременным резким возрастанием яркостной температуры на величину 40–90 К, соответствует периоду кардинального изменения в структуре ледяного покрова (период интенсивного разрушения и таяния) (рисунок 3.1.3.3). На основании полученных результатов была разработана методика определения начала весеннего разрушения ледяного покрова крупных пресноводных озёр по спутниковым данным.

Нарушение сезонной динамики третьего участка («морского») Обской губы определяется отсутствием второй временной области (рисунок 3.1.3.4). Яркостная температура, характеризующая открытую водную поверхность (область 1), после образования ледяного покрова сильно возрастает до значений третьей области и остаётся относительно стабильной вплоть до начала разрушения ледяного покрова. Яркостная температура в период разрушения льда нестабильна, сильно осциллирует и постепенно понижается до значений яркостной температуры открытой водной поверхности.

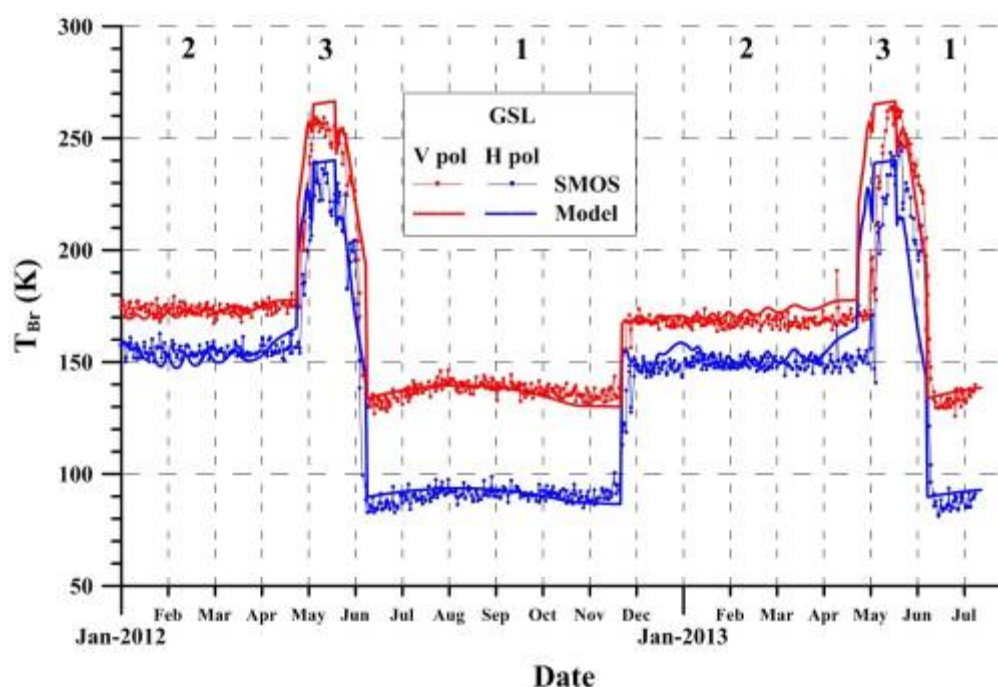


Рисунок 3.1.3.3 — Сезонные вариации яркостной температуры Большого Невольничьего озера (Канада). Символы и тонкие кривые — данные спутника SMOS, толстые кривые — теоретический модельный расчёт. Цифрами отмечены три временные области значений яркостной температуры

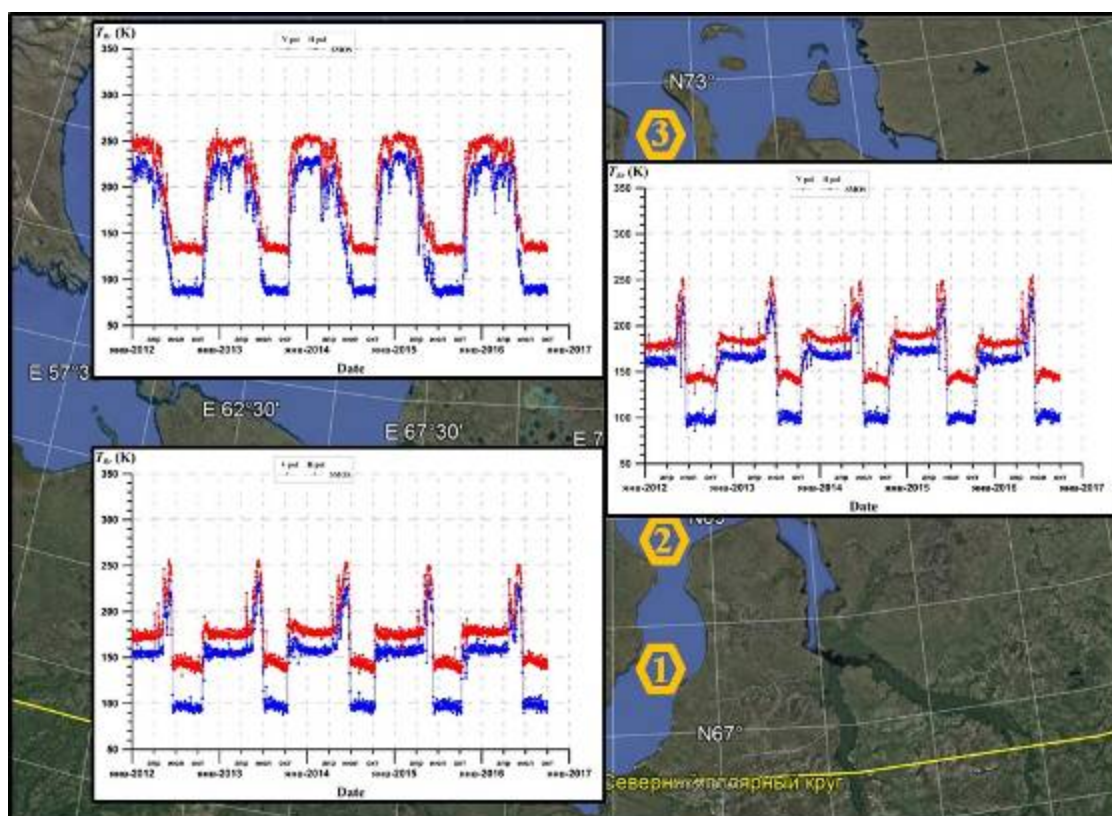
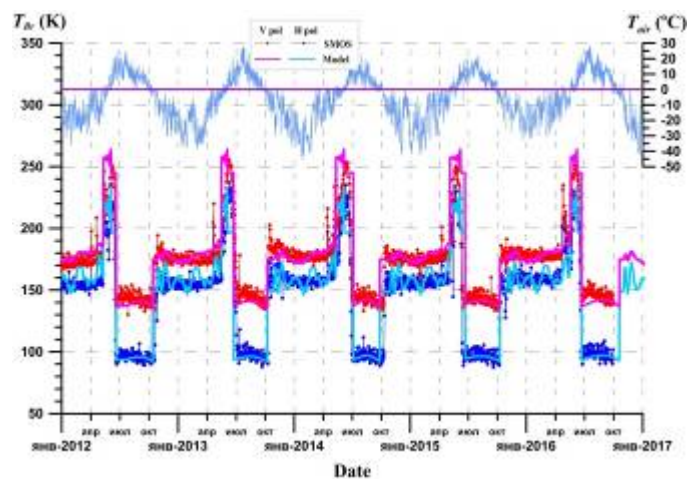
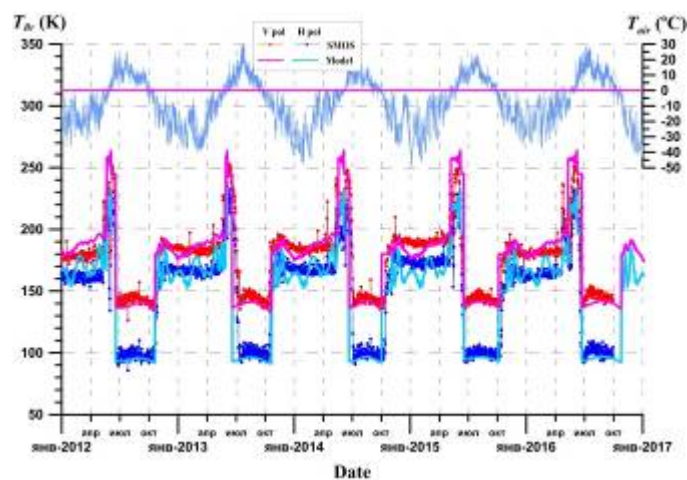


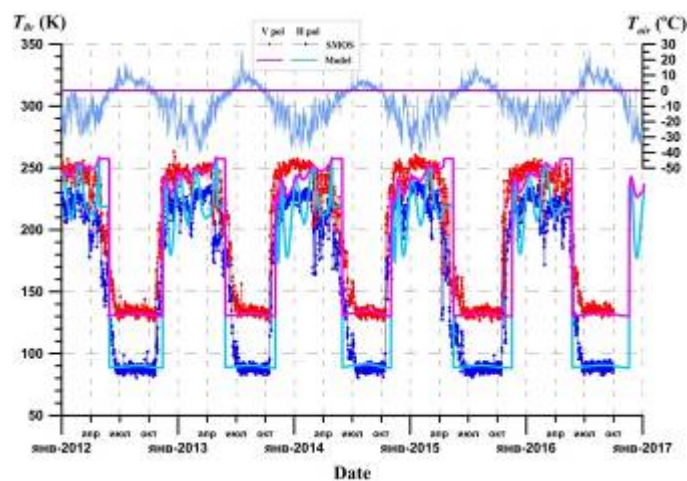
Рисунок 3.1.3.4 — Исследуемые участки Обской губы и сезонная динамика яркостной температуры каждого участка по данным SMOS. В сезонной динамике яркостной температуры третьего участка отсутствует временная область 2



a



б



в

Рисунок 3.1.3.5 — Исследуемые участки Обской губы и сезонная динамика яркостной температуры каждого участка по данным SMOS: *a* — участок 1; *б* — участок 2; *в* — участок 3. Символы и тонкие кривые — данные спутника SMOS, толстые кривые — теоретический модельный расчёт. В верхней части каждого рисунка представлена динамика температуры воздуха, полученная с ближайшей к каждому участку метеостанции

Выполненные теоретические модельные расчёты и сопоставление их со спутниковыми данными показало, что такое изменение динамики яркостной температуры «морской» части Обской губы, по сравнению с пресноводной частью, объясняется увеличением солёности воды и соответственно, сильным возрастанием поглощения излучения в нижнем слое льда, контактирующим с водной поверхностью (рисунок 3.1.3.5).

Таким образом, выявленные закономерности сезонных вариаций яркостной температуры и связанные с ними фазы ледяного покрова могут быть использованы для оценки гидрологического режима (фронтальной зоны) Обской губы в период ледостава. Поскольку такие характеристики воды эстуария, как пространственное распределение взвешенных твёрдых частиц, мутность, температура и солёность коррелируют между собой, то можно говорить и об оценке других гидрологических параметров воды под ледяным покровом по данным спутниковой микроволновой радиометрии.

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

3.2.1 Совершенствование системы VolSatView

3.2.1.1. Развитие информационных продуктов и инструментов анализа временных рядов

Информационная система VolSatView предназначена для обеспечения специалистов-вулканологов оперативными спутниковыми данными и информационными продуктами, получаемыми на основе их обработки, для мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил. Она обеспечивает автоматический сбор, обработку и архивацию различной информации по регионам действия вулканов Камчатки и Курил, получение и архивацию спутниковой информации и результатов её обработки из различных центров приема и обработки спутниковых данных.

В 2019 году была разработана новая версия интерфейса графического анализа временных рядов спектральной яркости наземных объектов по данным спутниковых наблюдений. В интерфейсе поддерживается два режима работы (см. рисунок 3.2.1.1.1.) Первый режим предназначен для работы с рядами данных произвольной продолжительности: от нескольких часов до нескольких лет. При этом интерфейс обеспечивает возможность интерактивного масштабирования шкалы времени и оптимизирует объём поступающих данных с сервера системы в клиентский браузер. Второй режим предназначен для анализа временных отрезков продолжительностью 24 часа. При этом одновременно могут быть представлены данные разных дней, что позволяет выявлять аномалии в суточной динамике спектральной яркости. Оба режима работы интерфейса позволяют сравнивать данные разных объектов, а также вычислять производные величины, такие как скользящее среднее и отклонение от фона. Возможен экспорт данных в различных форматах.

В систему были интегрированы новые продукты обработки данных прибора TROPOMI (спутник Sentinel-5). В их число входят аэрозольный индекс, а также специализированные продукты, определяющие концентрацию озона, угарного газа и диоксида серы в атмосфере. Анализ этих данных возможен как при отображении отдельных сеансов съёмки прибора, так и суточных композитных изображений. Данные необходимы для оценки характера и объёма выбросов в атмосферу в период эруптивной активности вулканов.



Рисунок 3.2.1.1.1 — Анализ временной динамики радиояркой температуры вулкана Безымянный: сравнение суточной динамики в разные дни (*вверху*) и обзор динамики за месяц (*внизу*)

3.2.1.2 Развитие методов распределённого анализа динамически меняющихся спутниковых данных для решения задач мониторинга природных пожаров

Созданные в настоящее время научные и прикладные сервисы, ориентированные на исследование различных природных и антропогенных явлений, используют возможности больших архивов спутниковых данных и позволяют в режиме близком к реальному времени анализировать природные процессы, в частности, с применением инструмента создания анимированных визуализаций на основе продуктов обработки спутниковых данных, тематических слоев, а так же результатов моделирования процессов и явлений. Разработанный ранее инструмент создания анимаций позволяет легко управлять процессами построения анимированного изображения на основе серии наблюдений спутниковыми системами, обеспечивая автоматический подбор данных в соответствии с граничными условиями и параметрами, заданными специалистом, либо, на основе отдельных сформированных наборов данных.

В 2019 году специалистами ИКИ РАН методы анализа были дополнены и расширены возможностями, ориентированным на решение задач мониторинга природных

пожаров. Для этого был доработан специализированный инструмент, ориентированный на исследование развития пожаров с применением временных серий наблюдений состояний пожаров. Инструмент позволяет создавать анимацию на основе серии изображений состояний пожаров в указанном временном интервале. При этом, инструмент позволяет создавать временные серии не только с фиксированным шагом по времени, но и с учётом времени каждого конкретного обновления пожаров в карте в течение суток.

Инструмент с такими возможностями особенно важен для анализа динамики долгодействующих, катастрофических пожаров. Пример анимации развития двух крупных лесных пожара сезона 2019 года, созданной с использованием разработанного инструмента, приведён по ссылке: <http://dev.nffc.aviales.ru/animation/1575548775.webm> Инструмент интегрирован в информационную систему «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» (VolSatView).

3.2.2 Использование системы VolSatView для анализа извержений вулканов Райкоке (Курилы) и Безымянный в 2019 г

В 2019 году специалистами ИВиС ДВО РАН, ИКИ РАН, ВЦ ДВО РАН и ДЦ НИЦ «Планета» велась постоянная поддержка и развитие системы VolSatView (см. главу 1 настоящего отчёта). Так же специалисты ИКИ РАН участвовали в работах по анализу отдельных извержений. В частности, совместно с коллегами из вышеперечисленных организаций был проведён анализ извержений вулканов Райкоке (Курилы) и Безымянный в 2019 году.

3.2.2.1. Анализ извержения вулкана Райкоке (Курилы) в 2019 году

Стратовулкан Райкоке (координаты 48°17' с.ш.; 153° 15' в.д.; абсолютная высота 551 м) находится в Центральных Курилах на одноименном острове в 16–18 км от о. Матуа. От дна моря высота вулкана составляет 2500 м, на уровне моря его постройка протягивается на 2–2,5 км, на его вершине кратер диаметром 700 м и глубиной 200 м.

Остров-вулкан Райкоке вместе с подводным вулканом 3.18 составляет единый вулканический массив размером 19×8 км северо-западного простирания. Расстояние между вершинами вулканов около 7 км, седловина между ними находится на глубине ~800 м. Относительная высота подводного вулкана от дна моря около 900 м, его плоская вершина находится на глубине около 250 м. Состав пород подводного вулкана — андезибазальты и андезиты.

Современное эксплозивное извержение вулкана Райкоке началось в 18:05 GMT 21 июня 2019 г. Первое сообщение об извержении, в котором были указаны высота подъёма эруптивной тучи, направление ее перемещения и др., по данным спутника Himawari-8, было выпущено в 19:28 GMT 21 июня Токио VAAC (Volcano Ash Advisory Center, <https://ds.data.jma.go.jp/svd/vaac/data/>). В дальнейшем основная информация о развитии извержения по данным различных спутников была получена нами с помощью информационной системы (ИС) «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил (VolSatView)».

Согласно анимациям по снимкам Himawari-8 (<http://volcanoes.smislab.ru/animation/1561927182.webm>, <http://volcanoes.smislab.ru/animation/1561373276.webm>), извержение началось серией из семи следующих друг за другом крупных эксплозий, поднявших пепел до 10–13 км над уровнем моря, затем в течение примерно 3.5 ч происходило непрерывное истечение пепла из кратера вулкана, сформировавшее мощную эруптивную тучу, двигавшуюся на северо-восток от вулкана (рисунок 3.2.2.1.1). В 03:40 и 05:30 GMT 22 июня проявились две последние крупные эксплозии, добавившие пепла в тучу, которая к 17:30 GMT 22 июня

расширилась до 750–800 км и начала закручиваться циклоном, господствовавшим в районе Командорских островов в северной части Тихого океана (рисунок 3.2.2.1.2). Протяжённость пеплового облака к 23 июня составляла более 2500 км.

Пароксизмальная фаза извержения Райкоке с выносом пепла до 13 км над уровнем моря и формированием гигантского эруптивного облака продолжалась около 15 ч; 23 июня пепловая колонна поднималась над кратером Райкоке до 1,5 км, пепловый шлейф протягивался на северо-запад от вулкана. На спутниковом снимке MSI (Sentinel-2A) за 00:53 GMT 25 июня хорошо видно как из вулкана Райкоке в разные стороны распространяются пепловый (на северо-восток) и парогазовый (на северо-запад) шлейфы (рисунок 3.2.2.1.3). Возможно, парогазовый шлейф связан с излиянием лавового потока на западный склон вулкана – при вхождении высокотемпературного лавового потока в море происходит мощное вскипание воды. Длительность процесса формирования лавового потока обуславливает продолжительное существование парогазового шлейфа.

Согласно спутниковым данным, во время извержения Райкоке в районе кратера вулкана Пик Сарычева (о. Матуа) отмечалась термальная аномалия, кроме этого, он проявлял повышенную парогазовую активность.

Детальный анализ спутниковой информации позволил предположить, что во время извержения Райкоке извергался и подводный вулкан 3.18. Предположение основано на том, что при непрерывном истечении пепла примерно с 23:30 GMT 22 июня эруптивная туча начала расслаиваться – как будто в её среднюю часть шёл вынос большого количества водяного пара. Возможно, подводный вулкан 3.18 уже тогда начал извергаться, и две последние отдельные эксплозии были из его кратера. После этих эксплозий наблюдались из того же центра похожие на парогазовые взрывы и низко над морем мощный парогазовый шлейф.

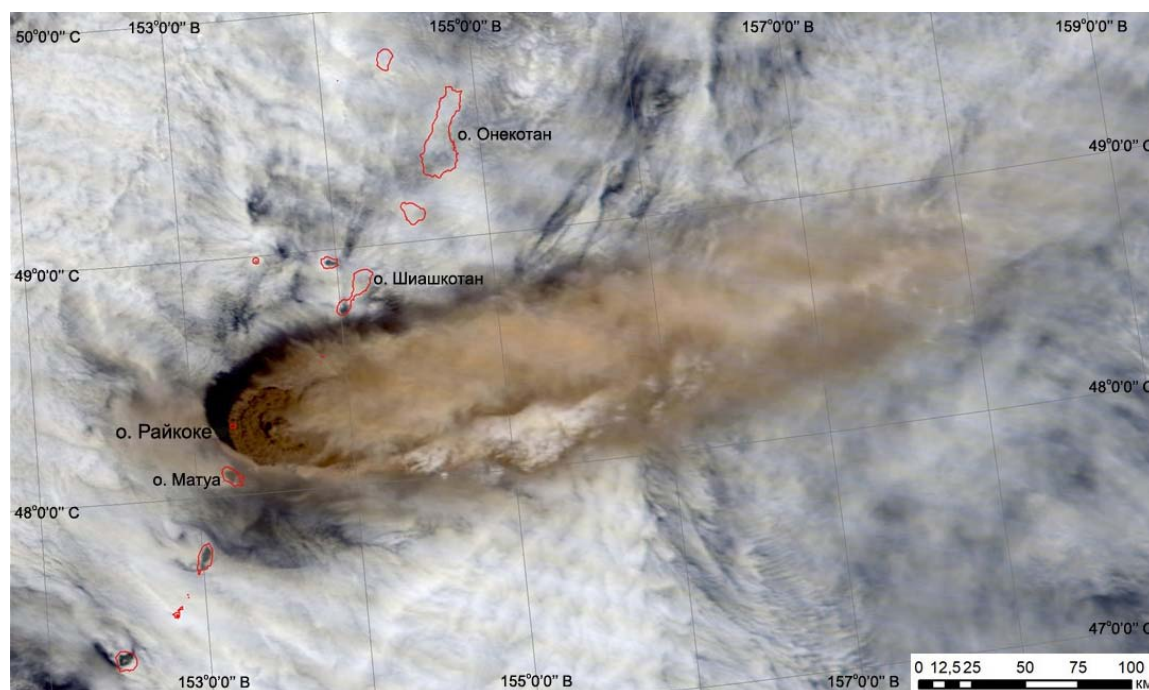


Рисунок 3.2.2.1.1 — Пепловый шлейф вулкана Райкоке на спутниковом снимке ИСЗ TERRA/MODIS 22 июня 2019 г. в 01:25 GMT. Данные ДЦ НИЦ «Планета»

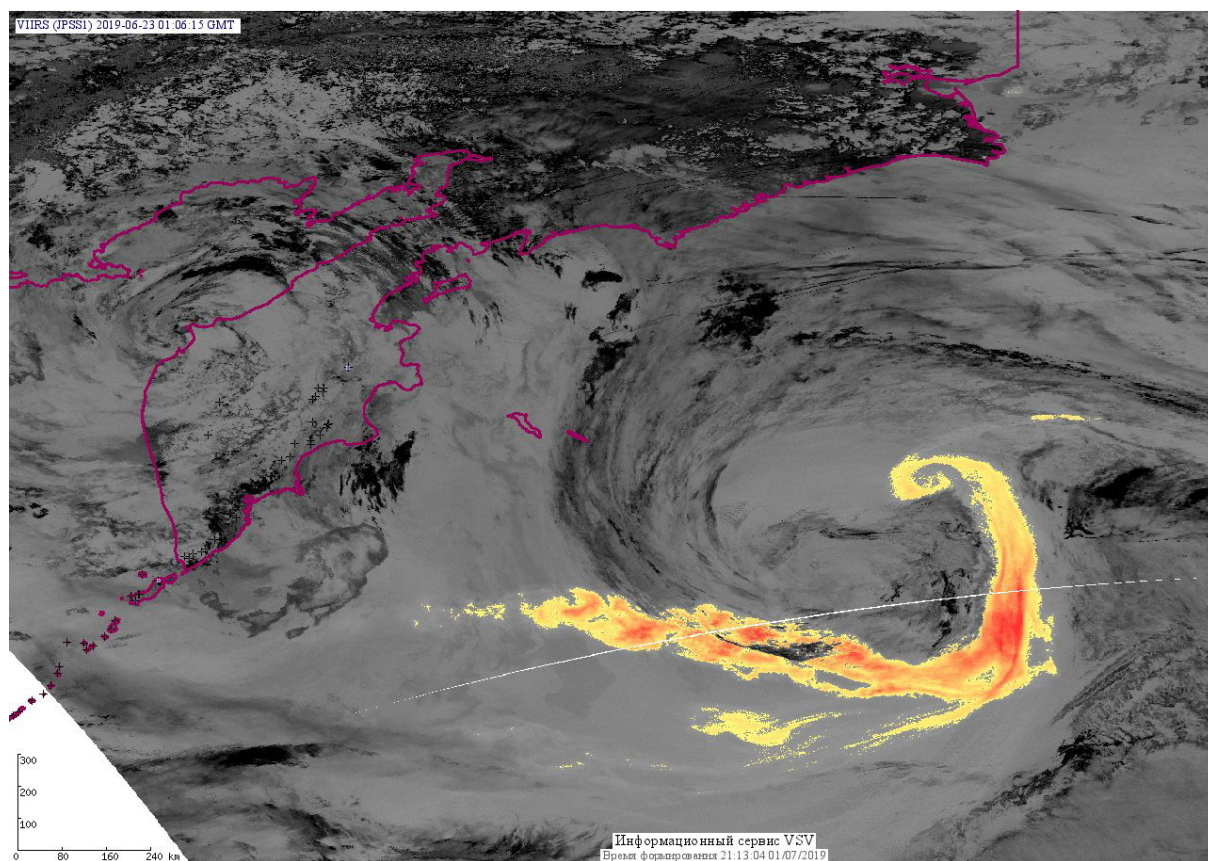


Рисунок 3.2.2.1.2 — Пепловое облако вулкана Райкоке закручивается циклоном в районе Алеутских островов в северной части Тихого океана. Снимок со спутника JPSS-1 (VIIRS) в 01:06 GMT 23 июня 2019 г. из ИС VolSatView



Рисунок 3.2.2.1.3 — Пепловый и парогазовый шлейфы, распространяющиеся из вулкана Райкоке в 00:53 GMT 25 июня 2019 г. на спутниковом снимке MSI (Sentinel-2A)

Эффект извержения вулкана Райкоке проявился в формировании мощных отложений пирокластики на склонах вулкана, погубивших растительность острова, а

также в образовании аэрозольных облаков, перемещавшихся в различных направлениях от вулкана на протяжении более 10 дней. Например, согласно данным Support to Aviation Control Service (<http://sacs.aeronomie.be/>) 30 июня следы аэрозольных облаков Райкоке, продолжающих оставаться в атмосфере, отмечались, например, на таких расстояниях от вулкана: 3100 км (Новосибирские острова), 3500 км (о. Байкал), около 5500–6000 км (северо-запад Канады). Возможно, на западный склон вулкана 24–25 июня началось выжимание вязкого лавового потока. Возможно также, что одновременно с извержением вулкана Райкоке происходило извержение подводного вулкана 3.18.

3.2.2.1. Анализ извержения вулкана Безымянный в 2019 г.

Вулкан Безымянный (координаты: 55°58'19" с.ш. 160°35'43" в.д.; абсолютная высота 2882 м; GVP 300250) — один из активнейших вулканов мира, расположен в центральной части Ключевской группы вулканов Камчатки. Первое историческое извержение андезитового вулкана Безымянный началось 22 октября 1955 г. и продолжалось вплоть до его катастрофического извержения 30 марта 1956 г. Сейсмический мониторинг вулкана Безымянный осуществляется Камчатским филиалом Единой геофизической службы РАН с 1946 г., наблюдения за ним с помощью видеокамер — с 2003 г., спутниковый мониторинг проводится ИВиС ДВО РАН (KVERT — Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team) с 2002 г. В 2018 г. вулкан был относительно спокоен. С 24 марта по 5 ноября 2018 г. температура термальной аномалии в районе купола была повышенной (иногда до 27–28 град. С), возможно, в связи с ростом и существованием нового небольшого экструзивного купола, обнаруженного в кратере вулкана 9 июля 2018 г. (<http://geoportal.kscnet.ru/volcanoes/imgs/2373.jpg>).

В 2019 г. произошло два эксплозивных извержения вулкана: 20 января и 15 марта, соответственно, спустя 394 (20 декабря 2017 г.) и 54 дня со времени предыдущего извержения. 20 января 2019 г. эксплозии подняли пепел до 10–12 км н.у.м., пепловый шлейф перемещался на северо-запад от вулкана (<http://geoportal.kscnet.ru/volcanoes/imgs/2409.gif> — анимация распространения пеплового шлейфа по данным спутника Himawari-8 из ИС VolSatView. Пеплопадам была подвержена территория Камчатки, Магаданской области и части Охотского моря площадью около 200 тыс. км². Подготовка следующего извержения начала проявляться с последней недели февраля, с 5-го марта количество раскаленных лавин, спускавшихся по склонам купола, постепенно увеличивалось. 15 марта в 11:00 UTC KVERT выпустил сообщение (VONA — Volcano Observatory Notice for Aviation) с прогнозом эксплозивного извержения с выносом пепла до 10–15 км н.у.м., которое, вероятно, произойдет в течение этой ночи. Сильное эксплозивное извержение с подъёмом эруптивной колонны до 15 км н.у.м. началось в 17:30 UTC 15 марта, т.е. реализация прогноза извержения произошла спустя 6 ч 30 мин после предупреждения. 15–16 марта пепловая туча перемещалась на северо-восток от вулкана, мощные пирокластические потоки залили западный, северо-восточный, южный и юго-восточный склоны вулкана. В результате извержения на восток от вулкана до океана протянулась полоса отложений пепла площадью около 2500 км². Основная площадь территории, подверженной пеплопадам Безымянного, составила более 63 тыс. км².

3.2.3 Анализ катастрофического обрушения сопки на левом берегу реки Буря

Использование современных методов дистанционного мониторинга позволило вести регулярный, постоянный мониторинг района обрушения сопки и схода скальных пород в реку Буря напротив места впадения в неё реки Средний Сандар, в точке с координатами 50°33'38" с.ш. и 131°28'53" в.д. Обрушение произошло 11 декабря 2018 г.

примерно в 4:30 GMT, что привело к полному перекрытию русла р. Бурей. Максимальная высота, с которой произошло обрушение, превышает 550 м н.у.м. Берег Буреи у кромки воды в районе обрушения находится примерно на высоте 250 м н.у.м. Протяжённость образовавшейся насыпи составляет около 600 м. Максимальная ширина насыпи превышает 600 м. Образовавшаяся в результате обрушения волна распространилась вдоль реки более чем на 10 км. Максимальная высота, до которой поднималась волна, превысила 310 м н.у.м., т. е. в районе обвала её высота превышала 60 м. Детальный анализ показывает, что волной было повреждено около 140 га леса. Общий объём обрушения по данным наземных наблюдений, выполненных Управлением эксплуатации Бурейского водохранилища (<http://bureya.su/>), составил более 30 млн м³. Анализ наблюдений по данным прибора АНІ КА Himawari-8 за период с 00:00 GMT 10.12.2018 до 00:00 GMT 13.12.2018 позволил выявить температурную аномалию, возникшую 11.12.2018 в 04:30 GMT в канале 3,9 мкм и в 04:40 GMT в канале 11,2 мкм. Это указывает на то, что обрушение произошло примерно в 04:30 GMT. Сначала событие прослеживается в канале 3,9 мкм за счёт того, что разлетающаяся пыль понижает отражательную способность поверхности. Затем наблюдаемая температура в каналах 3,9 и 11,2 мкм значительно (более чем на 2 °C) повышается из-за того, что на поверхность льда ($t = -20\text{ °C}$) выплеснулась вода ($t = 0\text{ °C}$). Измерения в каналах 3,9 и 11,2 мкм, полученные в точке обрушения, приведены на рисунке 3.2.3.1.

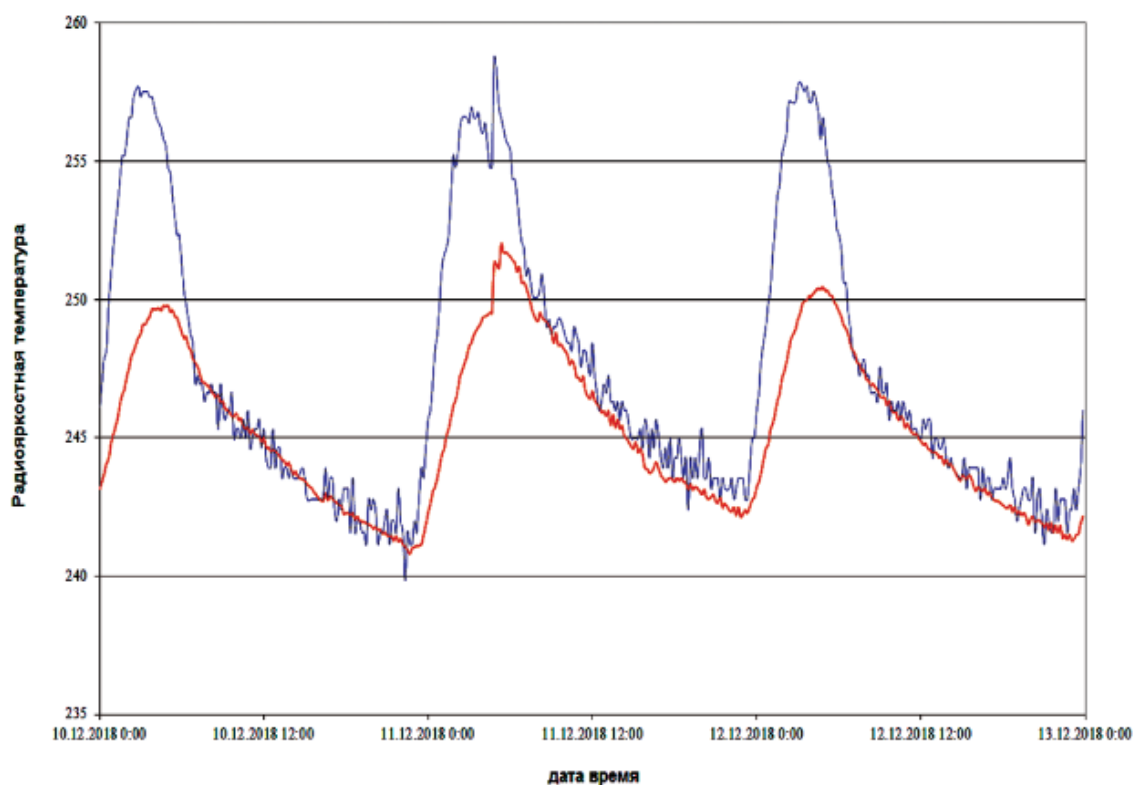


Рисунок 3.2.3.1 — Измерения в каналах 3,9 мкм (синий) и 11,2 мкм (красный), полученные прибором АНІ в точке обрушения

Из-за увеличивающегося роста перепада уровней воды между верхней и нижней границей обвала и возникшей угрозы подтопления населённых пунктов Чекунда, Эльга и Усть-Ургал выше по течению реки было принято решение о частичной расчистке насыпи и формированию в ней прорана для пропуска воды. Работы по устройству прорана велись в период с 21 января 2019 г. по 12 февраля 2019 г. На момент окончания работ был устроен проран с шириной: на входе в канал 97 м, в самом узком месте 48 м, на выходе из канала 102 м. Длина канала по спрямлённой части составляла 271 м. Проран позволил

частично освободить русло реки Бурея и снизить перепад уровня воды между верхней и нижней границей обвала до 1,5 м.

По данным полевых наблюдений было установлено, что стенки прорана не однородные, что вызывает камнепады и осыпание (Остроухов и др. 2019). Дальнейшее осыпание стенок канала и начавшиеся весенние процессы вскрытия рек, сопровождающиеся ледоходом, ускорили уменьшение пропускной способности прорана, что обусловило дальнейшую необходимость в мониторинге места события. Для мониторинга использовались данные различных оптических и радиолокационных КА, в том числе Landsat-8, Sentinel-1 и Sentinel-2, а также данные космического эксперимента «Ураган», проводящегося на борту российского сегмента МКС. Уменьшение ширины канала на входе было зафиксировано с начала марта 2019 года по данным спутников Sentinel-2. Постепенно форма канала менялась, и ширина канала уменьшалась. По состоянию на апрель 2019 года канал визуально напоминал форму бутылочного горла. Измерение линейных размеров производилось по данным съёмки, полученной с МКС 11.04.2019 06:55 GMT, пространственное разрешение которых составляет примерно 2 м. Линейные размеры составили: на входе в канал 24 м, в самом узком месте 20 м, на выходе 34 м. С учетом изменения формы канала его длина на момент измерения составила примерно 370 м. При этом отмечено, что вход в канал сместился на 20 м в восточном направлении, а выход — на 90 м в западном по сравнению с положением, которое было зафиксировано по данным спутника Sentinel-2A 12.02.2019. Динамика изменения формы канала весной 2019 года показана на рисунке 3.2.3.2.



Рисунок 3.2.3.2 — Изменение формы канала по данным ИСЗ Sentinel-2A. Цветосинтез R (640–680 нм), G (542–517 нм), B (456–523 нм)

Дальнейший мониторинг зоны обрушения показал, что за лето и осень 2019 года уменьшения ширины канала не наблюдалось. Уже в мае ширина канала в самом узком месте достигла значения 110 м, и ниже этого порога уже не опускалась. Кроме того, к маю был промыт стабильный проход из Среднего Сандара в Бурею, что, скорее всего, также повлияло на нормализацию состояния канала.

Заключение

Результаты, представленные в настоящем разделе, показывают, что работы по соответствующим пунктам плана работ ИКИ РАН на 2019 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 2019 года результаты также изложены в основных публикациях [10-14, 17, 25, 51, 52, 55-61, 100, 102, 135, 137-140, 144, 145, 174-178, 180, 191-194].

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

В рамках решения задачи по исследованию нелинейной динамики спектральных компонент морского волнения методами пассивной радиополяриметрии для решения задач экологического мониторинга морских акваторий, в 2019 г. были выполнены следующие работы:

1. Проведена модернизация приборной платформы для надводных измерений морской поверхности и атмосферы (Кузьмин, Садовский, 2019). Основные изменения затронули часть приборно-измерительного комплекса, обеспечивающего внешнее дистанционное управление и контроль за работой измерительного оборудования. Включение в схему управления современных устройств беспроводной связи и видеонаблюдения обеспечило возможность использования измерительного комплекса в сложных метеорологических условиях в автономном режиме. Внесённые конструктивные изменения позволили: во-первых, существенно расширить диапазон метеорологических условий, при которых проводятся натурные подспутниковые измерения (включая предштормовые и штормовые условия); во-вторых, обеспечить непрерывность измерений в течение продолжительных интервалов времени, охватив более широкий спектр условий волнообразования.

2. Проведены комплексные натурные исследования взаимодействия океана и атмосферы методами пассивной радиополяриметрии (Садовский, Кузьмин, 2019). Эксперимент был проведён в период с 9 сентября по 26 октября 2019 г. на морской

гидрофизической платформе Черноморского гидрофизического полигона РАН (ЧГП РАН), расположенной в Голубой бухте Чёрного моря (южная оконечность полуострова Крым, п. Кацевели). В задачи экспериментальных работ входило исследование гравитационно-капиллярного волнения (ГКВ) и температурно-влажностных характеристик пограничного слоя атмосферы в различных метеоусловиях. В комплекс радиометрической аппаратуры входили пять радиометров, разработанных в ИКИ РАН, и один радиометр-спектрометр, разработанный СКБ ИРЭ РАН, при этом измерения охватили частотный диапазон от 19 до 96 ГГц. Дистанционные измерения дополнялись данными контактных измерений (скорость и направление ветрового потока; температура и влажность атмосферы на высотах 12 и 21 м; температура и солёность водной среды на глубине от 0 до 40 м), а также результатами наблюдений в оптическом диапазоне для оперативной оценки состояния морской поверхности (наличие сликов, обрушений, пенных образований и ПАВ) и атмосферы (тип облачности, наличие осадков). Полученная информация об интенсивности излучения системы «океан – атмосфера» будет использована для решения следующих задач: восстановление спектра гравитационно-капиллярных волн и исследование динамики спектральных компонент волнения в различных условиях волнообразования (задача усовершенствования модели ветрового волнения, используемой при решении задач пассивной спутниковой радиометрии (Садовский, Сазонов, 2019)); восстановление интегральных параметров атмосферы и сравнение с результатами спутниковых измерений в точке проведения эксперимента (задача корректировки существующих алгоритмов обработки спутниковых данных); восстановление профилей температуры и влажности атмосферы (задача разработки новых и усовершенствования существующих методов дистанционного зондирования атмосферы (Пашинов и др., 2019)); исследование статистических связей эффективного коэффициента отражения взволнованной морской поверхности с гидрометеороусловиями (задача корректировки/создания региональных регрессионных моделей излучения, используемых при обработке спутниковых данных (Сазонов, 2019)); исследование особенностей формирования излучения морской поверхности при наличии крупномасштабных гравитационных волн (задача разделения вклада длинноволновых и коротковолновых составляющих спектра для развития двухмасштабной модели формирования излучения); исследование влияния обрушений и пенных образований на формируемое излучение (задача развития двухмасштабной модели формирования излучения). В настоящий момент проведён экспресс анализ метеорологических условий за весь период эксперимента и начаты работы по калибровке радиометрического оборудования.

3. В рамках проведённых экспериментальных работ отработана новая технология восстановления параметров крупномасштабных гравитационных волн на морской поверхности. Технология основывается на совместном использовании традиционной системы струнных волнографов и нового метода регистрации данных. В отличие от широко используемого резистивного метода измерения высоты волнения на каждой струне, здесь применён метод регистрации в видимой и инфракрасной области. Предложенная система лишена всех недостатков, характерных для резистивного метода, а именно — «обрастания» струн минеральными солями в результате ненулевой разности потенциалов, снижения чувствительности системы в ходе измерений за счёт изменения смачиваемости струн и деградации проводников и т.д., поскольку струны не включаются в электрические цепи и, в общем случае, изготавливаются из диэлектрического материала. Возможность применения оптического метода регистрации обусловлена появлением недорогих высокоскоростных фотоэлектрических элементов с высоким разрешением. Регистрация в инфракрасном диапазоне позволяет избегать влияния солнечного излучения на результаты измерений и оказывается возможной благодаря широкому распространению узкодиапазонных источников излучения и соответствующих фильтров.

В отделе 55 проводилась разработка принципиально новых оптических волнографов и их натурные испытания. Конкретной задачей являлось создание

оптического волнографа и проверка его работоспособности в натуральных морских условиях в различные времена суток. Параметры волнографа должны были обеспечивать измерение уклонов волн на масштабе 8 см, что необходимо для интерпретации данных 8-мм радиометра. Были рассмотрены два различных способа регистрации границы раздела (аппликат волновой поверхности).

Первый метод регистрации высоты струн заключался в выделении мениска, на котором отражался внешний источник света. Для решения задачи был создан струнный волнограф состоящий из шести струн, расположенных в позиции пятиконечной звезды и центральной нити, удалённой на 8 см от каждой из пяти нитей. Нити закреплялись на верхней опоре и располагались вертикально за счёт натяжения грузами, расположенными на нижней площадке. Схема регистрации блика представлена на рисунок 4.1.1а. Положение бликов регистрировалось видеокамерой. Один из видеок кадров бликов на шестиструнном волнографе показан на рисунке 4.1.1б.

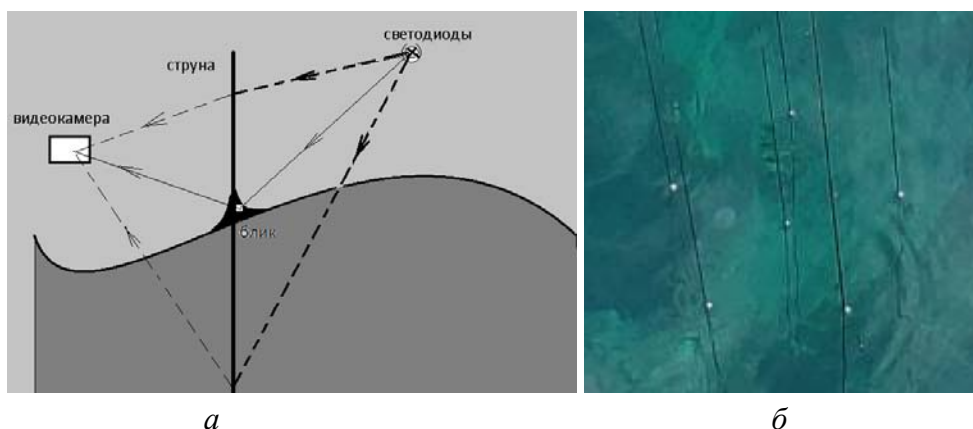


Рисунок 4.1.1 — Схема регистрации бликов от мениска (а), блики, сформированные на менисках струн при их освещении солнцем (б)

Однако натурные измерения показали, что блики на нитях формируются лишь в 85–95 % случаев, что приводит к сложностям автоматической обработки данных. По этим причинам первый метод на данном этапе методической отработки не может служить эталонным для оптического волнографа.

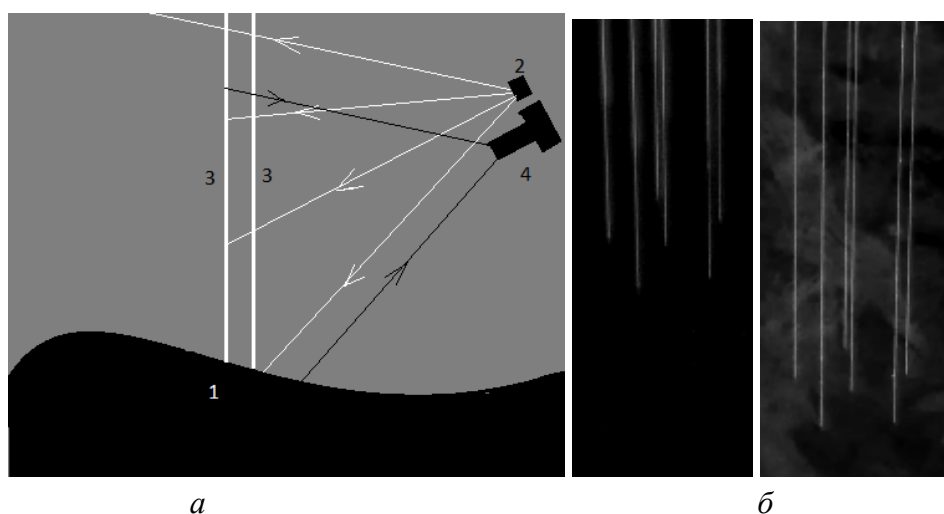


Рисунок 4.1.2 — Схема регистрации длины струн в инфракрасном диапазоне длин волн (а), два видеок кадра, полученные в ночных и дневных условиях (б)

Второй способ основан на инфракрасной регистрации длины струн. На рисунке 4.1.2а представлена оптическая схема такого волнографа. Нити 3 освещались ИК-прожектором 2, а их длина регистрировалась видеокамерой 4. Из-за сильного поглощения ИК-излучения водой верхняя часть струн ярко светилась, а часть, погруженная в воду — нет. На рисунке 4.1.2б представлены два видеокadra, полученные в ночных и дневных условиях.

На рисунке 4.1.3а представлен небольшой временной отрезок записи аппликаты в одной из шести точек, а на рисунке 4.1.3б соответствующий временной частотный спектр.

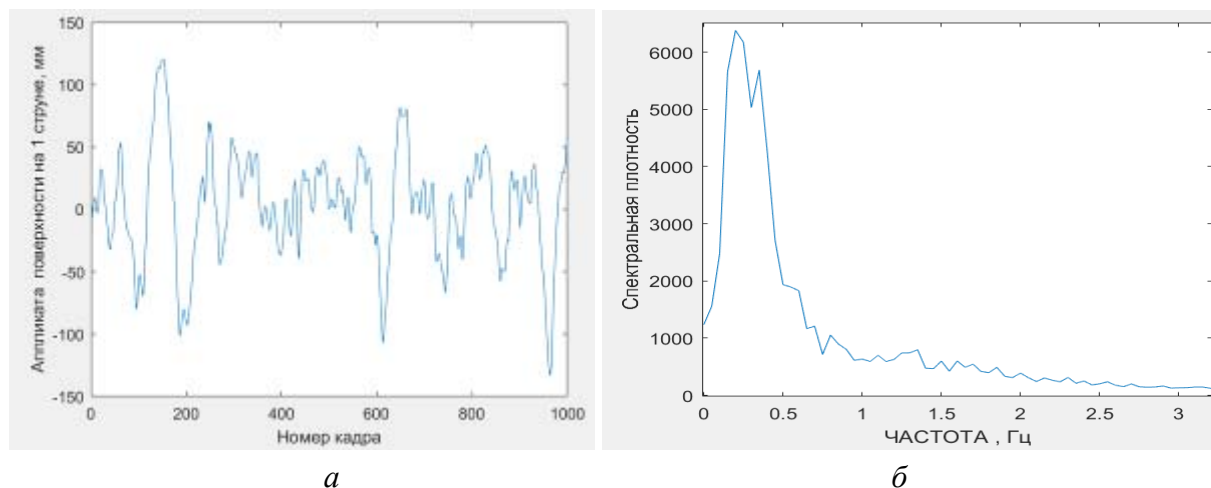


Рисунок 4.1.3 — Участок измеренной зависимости аппликаты поверхности 20.09.2019 на морской платформе близ п. Кацивели (*а*), временной частотный спектр для записи из видеоряда длиной 7500 кадров (*б*)

В заключение отметим, 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. Поэтому, по нашему мнению, данный способ имеет большие перспективы. Методы проходят процедуру патентования.

Полученные к настоящему моменту результаты измерений демонстрируют высокий потенциал предложенного метода, а получаемые с его помощью данные о характеристиках волнения позволяют 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.

4. В рамках проведённых экспериментальных исследований опробована технология синхронных измерений двумя эквивалентными радиометрами-поляриметрами с рабочей длиной волны 8 мм. Включение подобной схемы измерений стало возможным после завершения работ по разработке и созданию нового радиометрического приёмника данного частотного диапазона. Использование двух радиометров, имеющих практически одинаковые характеристики, должно повысить точность и достоверность проводимых исследований (рисунок 4.1.4). В настоящий момент начаты работы по совместной обработке данных обоих приборов в рамках задачи восстановления параметров спектра ветровых гравитационно-капиллярных волн.

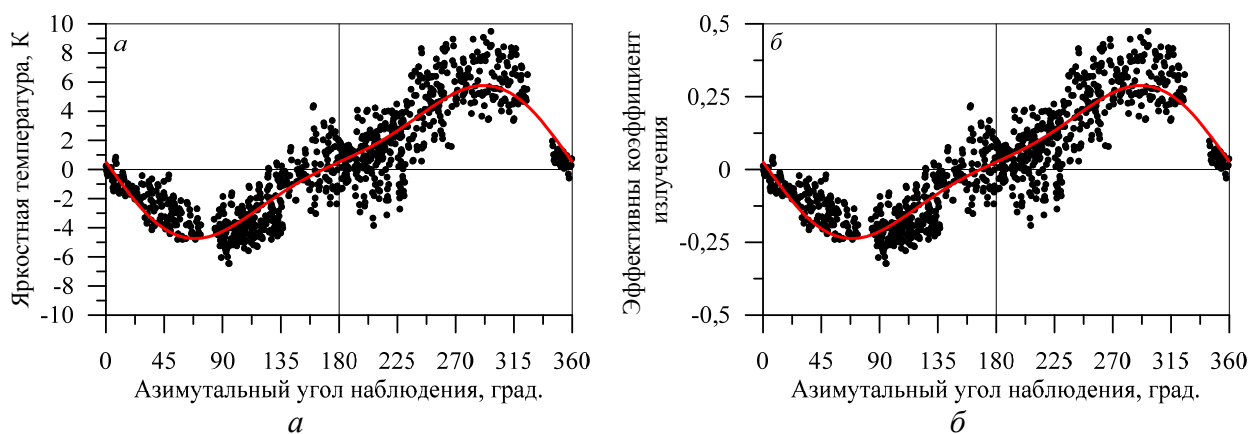


Рисунок 4.1.4 — Совмещённая азимутальная запись вариации третьего параметра Стокса и её аппроксимация: *a* — в радиояркостной температуре; *б* — в терминах эффективного коэффициента излучения. Температура воды 19 °С, скорость ветра 7 м/с

5. Проведена экспресс обработка данных натурных исследований с целью измерения ветровой добавки к излучению спокойной водной поверхности. В большинстве регрессионных моделей излучения, используемых при обработке данных дистанционного зондирования акваторий, данный аддитивный член отвечает за эффект азимутальной анизотропии собственного радиотеплового излучения. В свою очередь, азимутальная анизотропия излучения морской поверхности является основой всех существующих алгоритмов восстановления вектора скорости приповерхностного ветра по данным спутниковых измерений. Таким образом точность существующих моделей излучения напрямую связана с точность восстановления указанного параметра, а появление новых данных, полученных в ходе хорошо спланированного эксперимента, позволяет уточнять и дополнять существующие алгоритмы обработки спутниковых данных. В рамках выполненных натурных измерений было обнаружено, что для частоты 37 ГГц, существующие регрессионные модели излучения существенно недооценивают величину данной ветровой добавки. Объяснение причин выявленных расхождений будет представлено после проведения дополнительного исследования с всесторонним рассмотрением максимально возможного числа волнообразующих и метеорологических факторов, а также особенностей реализации эксперимента

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

В 2019 г. были продолжены работы по разработке научных основ методологии совместного использования данных различных сенсоров спутникового базирования. Совместно со специалистами отдела Технологии спутникового мониторинга постоянно совершенствуются методики и разрабатываются новые инструменты информационной системы See The Sea (STS) для обработки и совместного анализа большого потока ежедневных данных, получаемых в микроволновом и оптическом диапазонах электромагнитного спектра.

Разработанная методика в 2019 г. применялась для решения следующих актуальных задач контроля и оценки экологического состояния морских акваторий на основе данных сенсоров спутникового базирования.

4.2.1 Выявление аномального «зимнего» цветения кокколитофорид в восточной части Чёрного моря

На основе ежедневного спутникового мониторинга акватории Чёрного моря в январе-феврале 2019 г. была выявлена ситуация ранее не наблюдавшегося и не описанного в научной литературе «зимнего» цветения кокколитофорид в восточной части Чёрного моря. Кокколитофориды — это микроскопические морские планктонные одноклеточные жгутиковые водоросли, несущие на своей оболочке различные по форме и размерам известковые образования, называемые кокколитами. Они обладают способностью соединять углекислый газ с кальцием и переводить его в нерастворимую форму — карбонат кальция, являясь одними из основных известняк-продуцирующих организмов в Мировом океане и оказывая влияние на уровень углекислого газа в атмосфере, а тем самым на температурный режим и климатические условия. Исследования динамики развития и всех аспектов жизнедеятельности кокколитофорид приобретают особую значимость в связи с повышением концентрации атмосферного CO_2 , а также с изменчивостью концентраций азота и фосфора в морской воде. Несмотря на то, что наблюдения кокколитофорид начались в Чёрном море ещё с 40-х гг. XX в., задача определения основных закономерностей формирования структуры кокколитофорид в сезонном и климатическом аспектах не решена до сих пор. В научной среде сформировалось убеждение, что регулярное массовое развитие, «цветение», кокколитофорид в Чёрном море происходит в весенний и раннелетний сезоны, начинаясь в мае, достигая своего пика в июне, и вступая в фазу завершения в июле.

Проведённый нами оперативный анализ спутниковых данных, полученных с помощью сенсоров высокого пространственного разрешения MSI Sentinel-2A,B и OLI-TIRS Landat-8, а также данных среднего разрешения MODIS Terra/Aqua, в январе – феврале 2019 г. позволил выявить факт аномального зимнего цветения кокколитофорид в восточной части Чёрного моря. Первые признаки цветения были выявлены по данным спектрорадиометра MODIS, полученным 10 января 2019 г. в глубоководной части моря примерно над изобатой 2000 м. Цветение продолжалось более месяца. Развитие картины цветения отражено на представленной на рисунке 4.2.1.1 серии изображений, синтезированных в естественных цветах по данным сенсора MODIS, полученным в январе – феврале 2019 г.

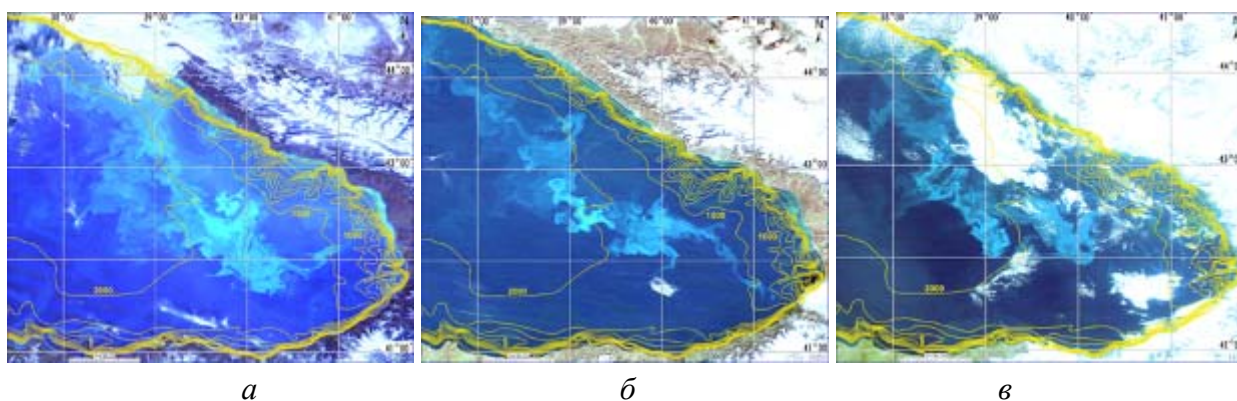


Рисунок 4.2.1.1 – Спутниковые изображения восточной части Черного моря, синтезированные в естественных цветах по данным сенсора MODIS ИСЗ Terra от 21 января 2019 г., 08:55 UTC (а); 5 февраля 2019 г. 08:10 UTC (б); 11 февраля 2019 г., 09:10 UTC (в)

Область «цветения», проявляющаяся как область существенного повышения восходящей яркости моря, была вытянута в направлении юго-восток – северо-запад

примерно на 450 км, её ширина местами достигала 100 км, а общая площадь, определённая по спутниковым данным, составляла около 31 000 км².

Выступая в роли трассеров, вовлечённые в вихревые движения светорассеивающие кокколиты, выявляют локальную структуру течений в области «цветения». Последовательность изображений, содержащих проявления кокколитофоридного цветения позволяет проследить формирование и развитие субмезомасштабных вихревых структур, что практически невозможно сделать в зимний период для глубоководной части моря на основе спутниковых данных из-за отсутствия визуализирующих трассеров.

Гипотеза о повышении температуры поверхности моря (ТПМ) как возможной причине аномального зимнего цветения кокколитофорид проверена и признана несостоятельной: как показывает анализ многолетних рядов ТПМ в восточной части Чёрного моря, аномальных повышений температуры в январе – феврале 2019 г. не наблюдалось. Выявление факта интенсивного «цветения» кокколитофорид в холодный период года должно внести свой вклад в установление причинно-следственных связей и уточнение причин этого явления. А постоянное наблюдение за экологическим состоянием вод Чёрного моря по спутниковым данным является эффективным методом контроля морской среды и позволяет выявлять события «цветения» фитопланктона и наблюдать их развитие во времени и в пространстве.

4.2.2 Выявление районов антропогенных загрязнений в северной части Красного моря

На основе радиолокационных данных SAR-C Sentinel-1A/1B и оптических данных высокого разрешения сенсоров MSI Sentinel-2A/2B и OLI-TIRS Landat-8 в северной части Красного моря выявлены районы регулярного загрязнения морской поверхности водами, содержащими нефтепродукты. Основной район антропогенных загрязнений, проявляющихся практически на всех радиолокационных изображениях, это акватория вблизи порта Суэц, который расположен на входе в Суэцкий канал со стороны Красного моря. Совместный анализ радиолокационных и оптических спутниковых данных, полученных с одинаковым пространственным разрешением 10 м (30 м для Landsat-8), и с разницей по времени от 15 мин до 7,5 ч, позволил не только подтвердить по наличию характерной радужной плёнки, что антропогенные загрязнения содержат нефтепродукты, но и проследить процесс растекания и дрейфа нефтяных загрязнений. Пример квазисинхронных наблюдений представлен на рисунке 4.2.2.1.



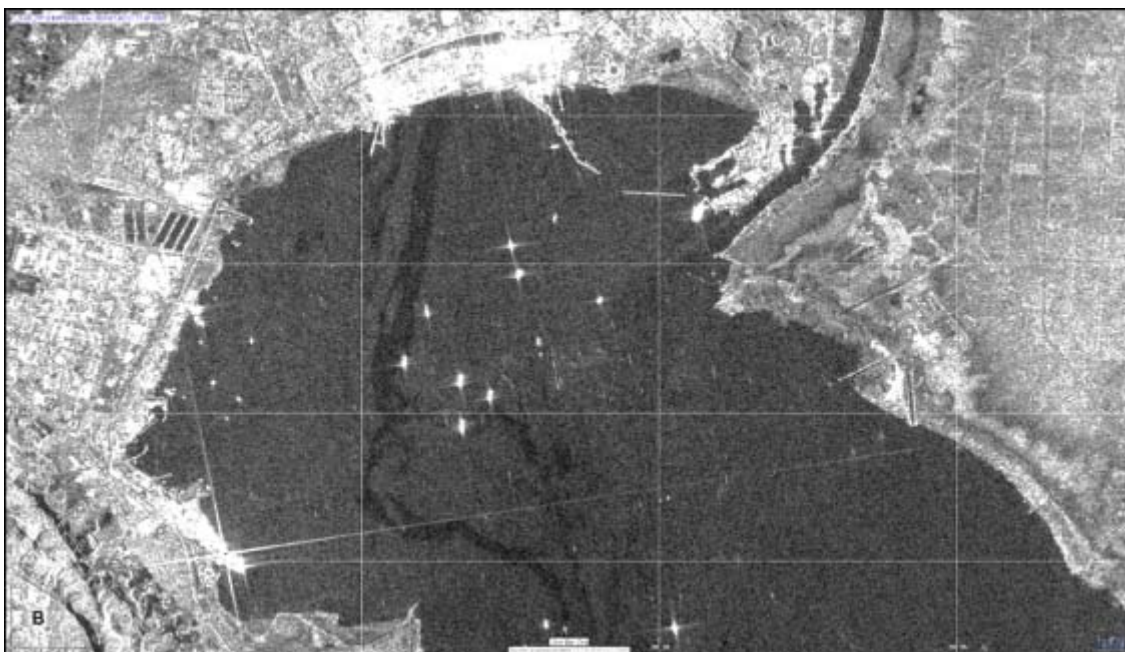


Рисунок 4.2.2.1 — Пример проявления трансформации нефтяных загрязнений на квазисинхронных спутниковых изображениях, полученных 7 июля 2019 г. над акваторией северной части Красного моря: *а* — 08:07 UTC, MSI Sentinel-2 (4-й, 3-й, 2-й спектральные каналы, разрешение 10 м); *б* — 08:23 UTC, OLI Landsat-8 (8-й панхроматический канал, разрешение 15 м); *в* — 15:37 UTC, SAR-C Sentinel-1A (VV-поляризация, разрешение 10 м)

Помимо акватории порта Суэц, нефтяные загрязнения регулярно выявляются на спутниковых изображениях вдоль судоходных трасс и вблизи многочисленных портов, расположенных по берегам северной части Красного моря. Северная часть Красного моря не только район активного судоходства, нефтеналивных сооружений и крупных портов, но и знаменитая курортная зона, где расположены известные курорты Египта Хургада и Шарм-эль-Шейх. Учитывая, что ширина моря в данном районе менее 30 км, вероятность загрязнения береговой черты, в частности в курортной зоне, велика.

4.2.3 Оценка состояния морской поверхности в Печорском море и в проливе Карские ворота

Мониторинг состояния морской поверхности в Печорском море и в проливе Карские ворота является актуальной задачей, важное практическое значение которой возросло в последние годы. В Печорском море с 2014 г. функционирует Морская ледостойкая стационарная платформа (МЛСП) «Приразломная» — нефтяная платформа, предназначенная для разработки Приразломного месторождения в Печорском море. Добыча нефти на МЛСП осуществляется в сложных условиях дрейфующих ледовых полей. К работам на МЛСП предъявляют очень строгие требования по предупреждению аварийных разливов нефти. Проводимый нами в 2019 г. анализ многолетних спутниковых изображений морской поверхности вокруг МЛСП, основанный на совместном использовании радиолокационных и оптических данных, не выявил, как и в предыдущие годы, никаких антропогенных загрязнений.

Пролив Карские ворота является частью кратчайшего судоходного пути из Баренцева моря в Карское. Проведённый нами спутниковый мониторинг ледяного покрова в проливе и в восточной части Баренцева моря вдоль судоходных трасс был направлен как на определение продолжительности периода, в который отсутствует лёд, так и на

разработку методики выявления дрейфующих ледовых полей на различных спутниковых изображениях. В условиях сильной неоднородности ветрового поля атмосферные процессы в приводном слое маскируют проявления ледяного покрова на радиолокационных изображениях (РЛИ). А из-за практически постоянной облачности, не более 10 % изображений видимого диапазона являются информативными. В информационной системе STS предусмотрены «продукты» на основе различных комбинаций РЛИ, полученных на разных поляризациях, которые были использованы для надежной интерпретации спутниковых данных. Для данных оптических сенсоров использовались различные комбинации каналов, наиболее подходящие для различения облачности, льда и суши (рисунок 4.2.3.1). Мониторинг охватывал 2005–2019 гг. Никакого влияния потепления климата выявлено не было. Как и в предыдущие годы, ледяной покров в проливе Карские ворота (особенно со стороны Карского моря) сохранялся до конца июля — начала августа.

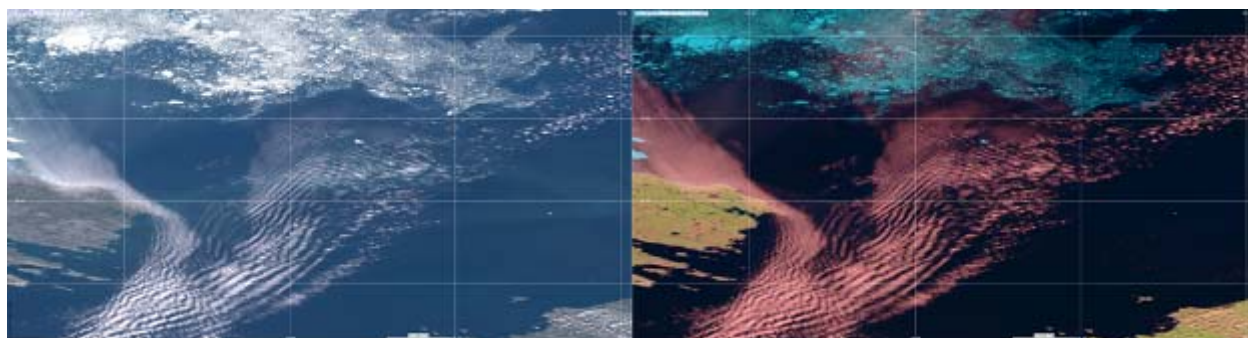


Рисунок 4.2.3.1 — Пример использования специальных возможностей, предусмотренных в информационной системе STS, для различения проявлений льда и облачности на оптических изображениях. Фрагмент изображения, полученного с помощью MSI Sentinel-2A 27 июля 2017 г. над проливом Карские ворота. Слева — стандартное цветосинтезированное изображение «в естественных цветах»: Red — 4-й канал (650–680 нм), Green — 3-й канал (542–577 нм), Blue — 2-й канал (456–523 нм). Справа — специальная композиция каналов для выделения ледяного покрова: Red — 12-й канал (2100–2280 нм), Green — 8-й канал (785–900 нм), Blue — 4-й канал (650–680 нм)

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

Выполнение задач по данному направлению исследований, которые базируются на анализе многолетних данных дистанционного зондирования из космоса, стало возможным исключительно благодаря созданию в ИКИ РАН информационного сервиса “See The Sea” (STS), являющегося составной частью ЦКП «ИКИ-Мониторинг». STS предоставляет исследователям, занимающихся изучением морей и океанов, совершенно новые инструменты для работы с данными дистанционных наблюдений, обеспечивая возможность комплексного анализа данных, различных по своей физической природе, пространственному разрешению, размерности и времени получения.

В 2019 г. на основе многолетних данных дистанционного зондирования из космоса с использованием возможностей STS проводились дальнейшие совершенствование и апробация методов количественной оценки параметров следующих гидродинамических процессов: внутренних волн в море и в атмосфере, вихрей и вихревых структур, прибрежных течений.

4.3.1 Апробация методов количественной оценки параметров прибрежных течений с помощью спутниковых дрейферных экспериментов и численного моделирования

Исследование гидродинамических процессов в поверхностном слое моря представляет собой одну из актуальных проблем океанологии. Сложность изучения определяется высокой изменчивостью водной среды во времени и пространстве, и неоднородностью её динамики по глубине. Для изучения гидродинамических процессов используют разные подходы: измерения *in situ*, математическое численное моделирование, спутниковые дистанционные методы. Каждый метод имеет свои преимущества и ограничения. В отличие от натурных измерений численное моделирование и дистанционное зондирование позволяют получать косвенные оценки изучаемых параметров, поэтому всегда остаётся задача верификации результатов численного моделирования и дистанционного спутникового зондирования прямыми измерениями *in situ*.

В 2019 г. в ходе проведения трех серий экспедиционных работ в Чёрном, Балтийском и Азовском морях были проведены синхронно со спутниковой съёмкой эксперименты по определению параметров прибрежных течений. Измерения проводились с помощью буксируемого акустического доплеровского профилографа течений (ADCP), а также с помощью разработанных нами лагранжевых мини-дрейферов, которые представляют собой дрейфующие буи, перемещающиеся в морских акваториях под воздействием течений. Их перемещение примерно совпадает с движением водных масс и может выступать в качестве маркера динамики морских вод. С помощью дрейферных экспериментов были определены параметры течений на разных глубинах, поскольку дрейфер оснащён подводным парусом на разных глубинах. В частности, в экспериментах апреля–мая 2019 г. в северо-восточной части Чёрного моря удалось выявить скорость прибрежных течений на разном удалении от берега, в частности скорость Основного черноморского течения в струе, прижатой к берегу, которая составляла 60–80 см/с (рисунок 4.3.1.1). Была определена «мёртвая зона» в районе м. Видный, где сильно ослаблена прибрежная циркуляция вод. В такой зоне могут скапливаться различного рода загрязнения, например, связанные с выносом рек Мзымта, Сочи, и водами из подводного выпуска Адлера.

Совместный анализ спутниковой информации и данных дрейферных экспериментов позволил по косвенным признакам, таким как искривление траектории дрейфера, оценить глубину проникновения вихревых структур, которые идентифицируются на спутниковых изображениях за счёт различных механизмов проявлений: сликовый или за счёт рассеяния на водах разной мутности. Полученные результаты дрейферных экспериментов убедительно доказывают, что использование недорогого и простейшего в изготовлении прибора, каким является лагранжевый мини-дрейфер, позволяет получать оперативную информацию о параметрах прибрежных течений в достаточно большой акватории и являются хорошей валидацией результатов спутниковых наблюдений.

На основе данных моделирования с помощью адаптированной для Балтийского моря численной модели POM (Princeton Ocean Model) и сопоставительного анализа со спутниковыми изображениями видимого диапазона рассмотрена динамика Юго-Восточной Балтики в периоды, включающие моменты изменения интенсивности и направления ветрового воздействия. Получено, что в такие моменты в определённых районах Юго-Восточной Балтики в динамике верхнего слоя, действительно, доминируют инерционные колебания, которые хорошо отслеживаются с помощью мини-дрейферов. Сопоставительный анализ спутниковых и модельных данных показал, что инерционные колебания оказывают существенное влияние на распространение взвешенного вещества по акватории моря, поступившего в него, в частности, из Вислинского залива.

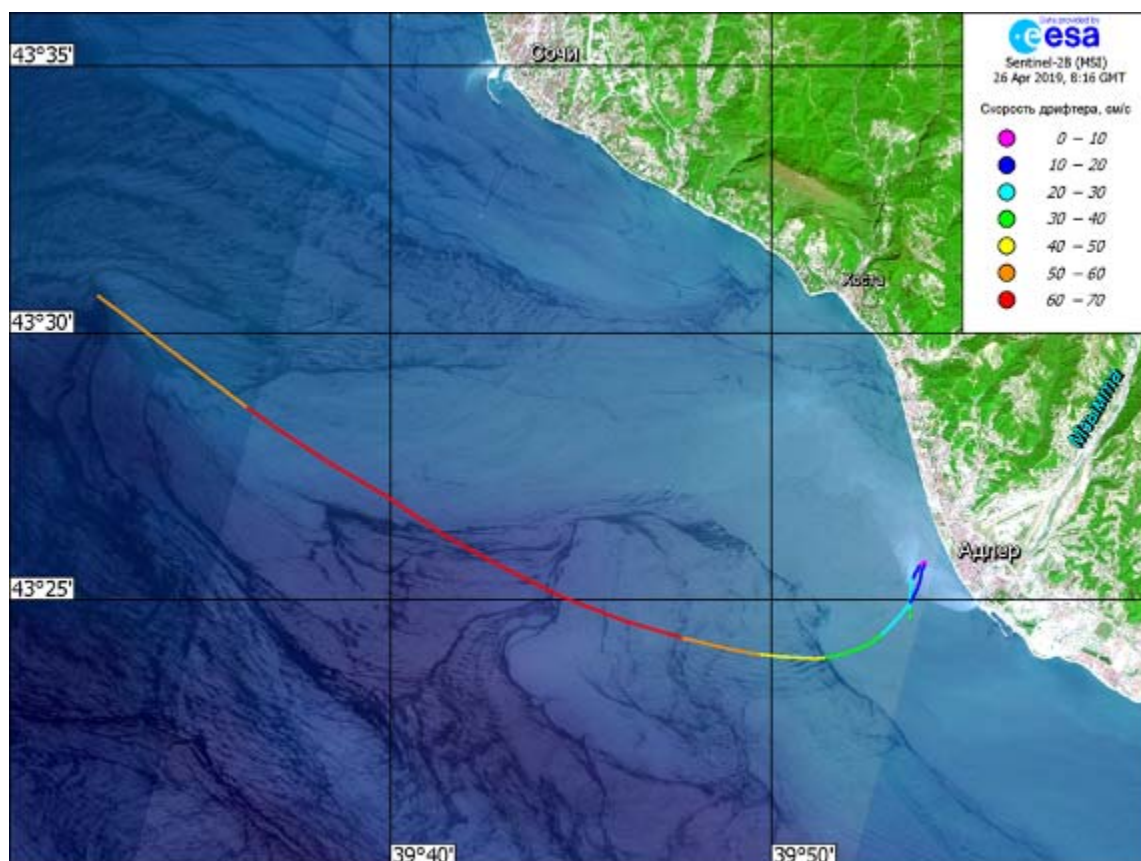


Рисунок 4.3.1.1 — Пример определения скорости прибрежного течения на основе синхронного со спутниковой съёмкой дрейферного эксперимента

Публикации по данному направлению в 2019 г. получили премию в номинации «Лучшая научная работа Института».

4.3.2 Апробация методов количественной оценки параметров вихревых структур в юго-восточной части Балтийского моря на основе многолетних данных дистанционного зондирования из космоса и результатов численного моделирования

Работа выполнялась совместно с коллегами из Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН и Таллиннского технологического университета.

В 2019 г. проведён анализ многолетних радиолокационных и оптических спутниковых данных, полученных над акваторией юго-восточной части Балтийского моря с целью выявления долгоживущих мезомасштабных вихревых структур. По серии последовательных спутниковых изображений определялось их «время жизни» и скорость распространения. Вихревые структуры проявляются на спутниковых изображениях только при наличии визуализирующих линии тока пассивных трассеров. Это могут быть слики различной природы, температурные контрасты, взвесь, агрегаты цианобактерий и т.п. В зимний период, в облачную погоду или в условиях сильной неоднородности ветрового поля вихревые структуры могут не иметь своих проявлений на спутниковых изображениях. В таких условиях численные модели с высоким разрешением, по-видимому, являются лучшим инструментом для воспроизведения мезомасштабного и

субмезомасштабного поля течений в облачных условиях, характерных для Балтийского моря.

Разработанная Виктором Журбасом (ИО РАН) и Germo Väli (Таллиннский технологический университет) численная модель с ультравысоким пространственным горизонтальным разрешением (порядка 100 м) была протестирована нами для летнего периода 2015 г., когда вихревые структуры наблюдались на спутниковых изображениях в течение длительного периода. Сравнение результатов, полученных на основе спутниковых данных с результатами модели показало достаточно хорошее соответствие между наблюдаемыми и смоделированными картинками мезомасштабных вихревых полей в поверхностном слое юго-восточной части Балтийского моря за этот период (рисунок 4.3.2.1). На наш взгляд, такое соответствие даёт два результата. Во-первых, разработанная уникальная модель циркуляции сверхвысокого разрешения может использоваться для ретроспективного прогнозирования и оперативного прогноза мезомасштабных вихревых полей в юго-восточной части Балтийского моря. Во-вторых, после того, как модель воспроизвела несколько спутниковых изображений, доступных за этот период, можно ожидать, что моделирование даёт реалистичную информацию об эволюции мезомасштабных и субмасштабных вихрей в области, включая место и время рождения, размер, интенсивность, трек, время жизни и т.д. С другой стороны, определяемые по спутниковым данным параметры вихревых структур (знак вращения, угловая скорость, время жизни), находятся в хорошем соответствии с тем, что получено в результате численного моделирования.

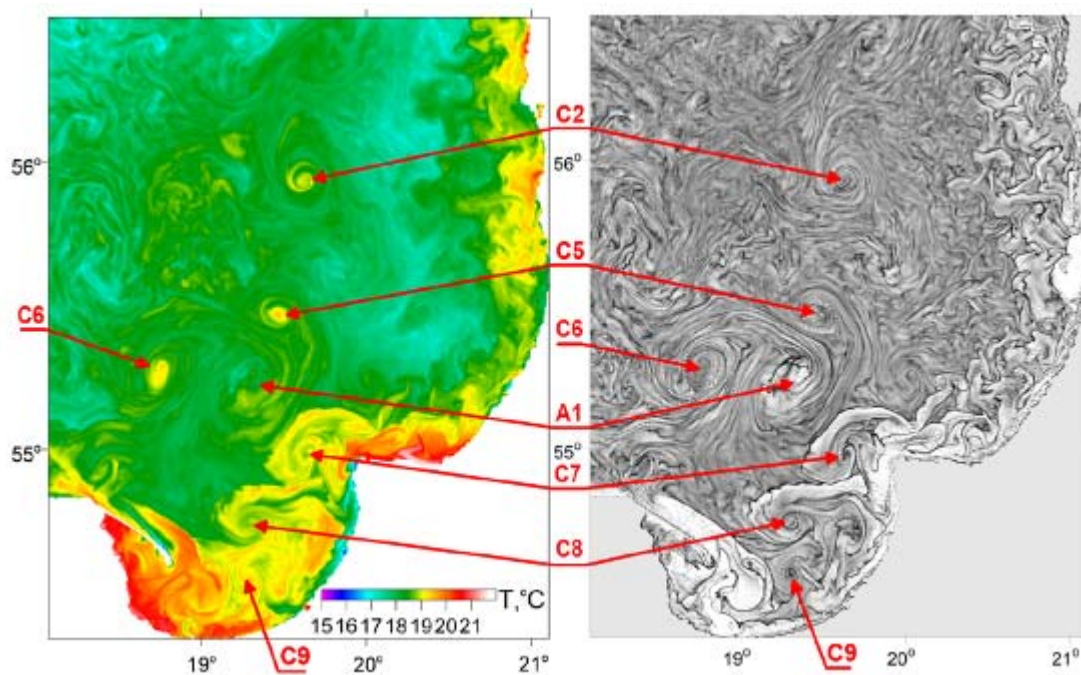


Рисунок 4.3.2.1 — Сравнение результатов спутниковых наблюдений вихревых структур за счёт температурных контрастов, полученных с помощью сенсора TIRS Landsat 8 3 июля 2015 г. (слева) с результатами численного моделирования (справа). А — антициклоническое вращение, С — циклоническое

4.3.3 Выявления влияния вихревых структур на распространение плёнок естественных нефтепроявлений в Чёрном море на основе анализа многолетних данных дистанционного зондирования из космоса

Повышенный уровень загрязнения морской поверхности плёнками сырой нефти обусловлен двумя основными причинами. Одной из причин является хозяйственная деятельность человека, связанная с добычей, транспортировкой, очисткой, хранением и использованием нефти. Второй причиной являются естественные выходы нефти с морского дна. Согласно недавним оценкам считается, что в настоящее время 47 % сырой нефти, поступающей в Мировой Океан, обусловлено естественными выходами с морского дна, а 53 % являются результатом утечек и разливов во время добычи, транспортировки, переработки, хранения и промышленного использования нефти.

Нами проанализированы многолетние ряды спутниковых данных, полученных над юго-восточной частью Чёрного моря. В этой части акватории наблюдаются естественные выходы нефти на поверхность моря на турецком шельфе вблизи г. Ризе и в грузинском секторе Чёрного моря в районе Поты – Батуми.

Экспериментальную основу работы составили данные РСА ИСЗ Envisat (до 2012 г.) и РСА ИСЗ Sentinel-1A;1-B 9 (начиная с октября 2014 и сентября 2016 гг. соответственно). Кроме того, к исследованию привлекались данные многоспектральных сенсоров оптического диапазона — MSI ИСЗ Sentinel-2A, сканирующих радиометров ETM+ Landsat-7 и OLI/TIRS Landsat-8.

Нами были проанализированы траектории распространения плёнок естественных нефтепроявлений, выявленных на спутниковых снимках юго-восточной части Чёрного моря с целью определения влияния гидродинамических процессов, в первую очередь вихревых структур, на процесс распространения загрязнений в морских акваториях. По результатам анализа спутниковых данных установлено, что при наличии мелкомасштабных вихревых структур вблизи точки выхода нефти на поверхность возможен двухэтапный процесс дрейфа нефтяных плёнок: 1) на начальном этапе нефтяное загрязнение оказывается вовлечённым в вихревые движения, 2) на периферии вихря становится определяющим влияние ветра и геострофических течений.

На основе анализа спутниковых РСА-изображений, содержащих слики естественных нефтепроявлений на морской поверхности юго-восточной части Чёрного моря в районе турецкого шельфа вблизи г. Ризе установлено, что в 10–12 % случаев нефтяная плёнка после выхода на поверхность оказывается вовлечённой в мелкомасштабные вихревые движения, которые зачастую радикальным образом меняют ожидаемую (расчётную) траекторию распространения слика. Точка всплытия естественных нефтепроявлений на поверхность в этом районе находится на расстоянии около 5 км от берега, и преобладает вдольбереговое направление переноса загрязнений. Установлено, что в зависимости от размеров, знака завихренности и траектории движения вихря, вовлечённость слика в вихревые движения может иметь как положительный эффект, способствуя кросс-шельфовому переносу загрязнений и очищению прибрежной зоны, так и отрицательный, способствуя выносу нефтяного загрязнения на берег.

Карта естественных нефтепроявлений на морской поверхности, построенная на основе анализа 405 и 270 спутниковых снимков, полученных в 2009–2019 гг. над шельфовой зоной юго-восточного Чёрного моря в районе Поты – Батуми и в районе г. Ризе соответственно представлена на рисунке 4.3.3.1.

На основе спутниковых данных установлено, что в условиях, когда преобладающее направление ветра и течений сохраняется в течение длительного времени, нефтяная плёнка может распространяться на большие расстояния — вплоть до 45 км от точки всплытия. Исходя из протяжённости следов, выявленных по радиолокационным данным, и задавшись средней скоростью течения 25 см/с, что можно считать достаточно высокой

скоростью, получена приблизительная оценка возможной продолжительности жизни плёнок естественных нефтепроявлений на морской поверхности вплоть до 50 ч.

На основе обобщения результатов анализа многолетних рядов данных получены оценки рисков нефтяного загрязнения морской поверхности в результате естественных выходов нефтеуглеводородов с морского дна в районе интереса. Построены карты, позволяющие оценить вероятность загрязнения различных участков морской поверхности вблизи естественных выходов нефти на поверхность в грузинском секторе Чёрного моря в районе Поти – Батуми (рисунок 4.3.3.2а) и на турецком шельфе вблизи г. Ризе (рисунок 4.3.3.2б).

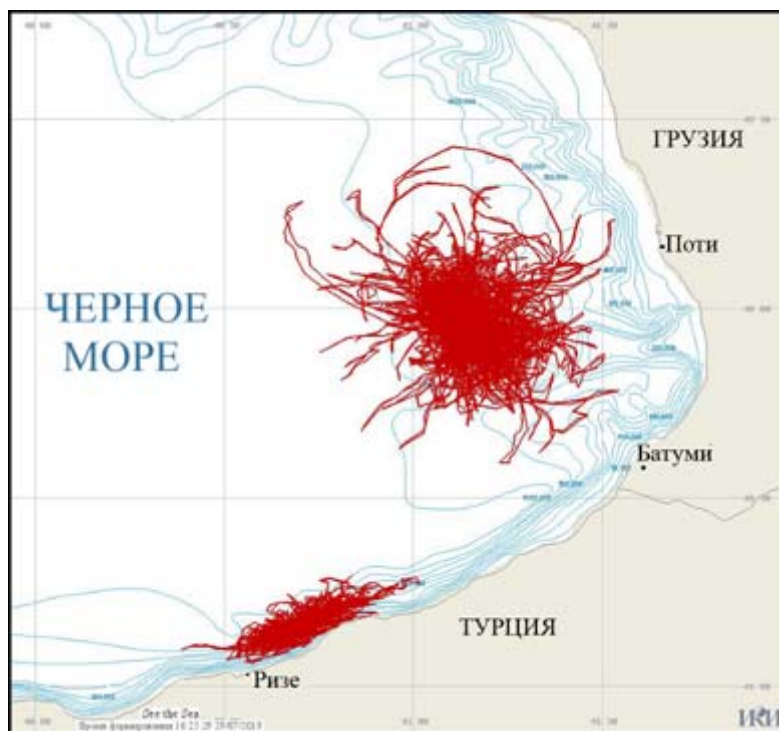


Рисунок 4.3.3.1 — Обобщённая схема нефтяного загрязнения морской поверхности над районами естественных выходов углеводородов со дна в юго-восточной части Чёрного моря, построенная по спутниковым данным за 2009–2019 гг.

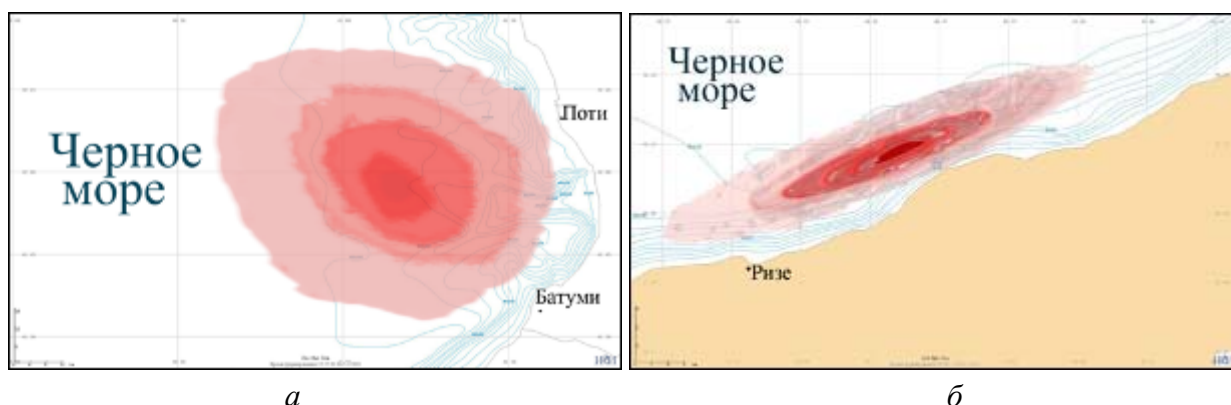


Рисунок 4.3.3.2 — Карта вероятностей нефтяного загрязнения морской поверхности юго-восточной части Чёрного моря, обусловленного естественными выходами нефтеуглеводородов с морского дна

По спутниковым данным установлено, что площадь акватории, потенциально подверженной загрязнению плёнками естественных нефтепроявлений, в районе Поти-

Батуми составляет около 4500 кв. км. Площадь, подверженная загрязнению с вероятностью более 50 %, составляет 1000 кв. км. Примерно 180 кв. км акватории имеют высокий риск загрязнения.

Площадь акватории, потенциально подверженной загрязнению плёнками естественных нефтепроявлений, в районе турецкого шельфа составляет около 450 км². Площадь, подверженная загрязнению с вероятностью более 50 % составляет 150 км². Примерно 50 км² акватории имеют высокий риск загрязнения. В этом районе преобладает вдольбереговое направление переноса загрязнений, однако локализация точки всплытия на малом расстоянии от береговой черты существенно повышает риски загрязнения побережья.

Заключение

Результаты, представленные в настоящем разделе, показывают, что работы по соответствующим пунктам плана работ ИКИ РАН на 2019 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 учетом 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 2019 г. работ кратко представлены в настоящей главе отчёта.

Полученные в 2019 г. результаты подробно изложены в списках публикаций в иностранных и российских журналах, а также в материалах различных конференций, проходивших в 2019 году, приведённых в конце отчёта [18-22, 24, 53, 64-70, 101, 105, 146-149, 183-190].

5.1 Разработка научных основ, методов и технологий обработки временных серий спутниковых многосенсорных наблюдений для решения комплекса задач исследований и мониторинга атмосферы.

5.1.1 Применение углового сканирования и метода нулевой воздушной массы в задачах определения температуры поверхности и оптической толщи атмосферы в ИК-диапазоне спектра

Мониторинг температуры земной и морской поверхности (ТМП), а также содержания атмосферных компонент и оптической толщи атмосферы включается в программу оперативных ИСЗ. Для существующих и перспективных спутников ДЗЗ для обеспечения полосы захвата более тысячи километров используется сканирование в диапазоне углов до 45° в плоскости, нормальной к вектору скорости. Задачи зондирования решаются на основе линейного приближения модельных функций пропускания

атмосферы. В работе рассматривались многоканальные методы MCSST, улучшенный многоканальный метод (cross-product CPSST), метод учёта содержания водяного пара в атмосфере, WVSST, квадратичный метод QDSST, метод региональных констант. Однако перечисленные методы приводят к росту дисперсии ошибок в условиях увеличения вариаций атмосферных параметров, подобных распространению дымов от пожаров на больших площадях, переносу значительных масс песка и земли воздушными потоками при большой скорости ветра и других возмущений. Изменчивость реального состояния и замутнённости атмосферы, в том числе и влияние слоистой структуры аэрозольных слоёв адекватно учитывают угловые и спектрально-угловые методы определения ТМП, реализуемые впервые в мире на спутниках «Космос-1076,-1151». При этом обеспечивается возможность измерения углового распределения интенсивности излучения, генерируемого поверхностью и атмосферой в выделенных границах. Применительно к задаче определения температуры поверхности разработан метод нулевой воздушной массы, реализованный для измерений излучения под тремя зенитными углами. Измерения под двумя зенитными углами создали практическую возможность учёта вариаций оптической толщи. Такой подход был применён к интерпретации измерений радиометрами ATSR-1,2 и AATSR на спутниках ERS-1, -2 и ENVISAT. Сканирование на них проводится с зенитными углами от 0 до 21,6 градуса для надирного положения и от 52,4 до 55° для направления вперёд по полёту. Наклон оси конуса сканирования по отношению к надиру обеспечивает полосу захвата 500 км. Измерения этих радиометров использовались для коррекции чувствительности и методик радиометров на других спутниках.

5.1.2 Инструментальные наблюдения радиоэха в фазе роста суббурь на авроральных широтах

В фазе роста суббурь (22–24 MLT) на авроральных широтах (между 64 и 72° геомагнитных широт) были произведены инструментальные наблюдения посредством метеорного радара, оптическими камерами обзора, ионозондами и магнетометрами. С авроральной дугой, дрейфующей к югу на фазе роста суббури, ассоциируется повышенная

плотность электронов на высоте 110 км (вплоть до $2 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$, соответствующая

плазменная частота f_oE_s — 13 МГц). Такая плотность электронов в Е-слое ионосферы обуславливает отражение радиоволны метеорного радара, работающего на частоте $f_r = 36,9$ МГц и низких углах возвышения $< 25^\circ$, по направлению к земной поверхности. В результате отражённый от земной поверхности сигнал демонстрирует нулевой доплеровский сдвиг. При этом амплитуда радиоэха была промодулирована частотой в несколько герц, и подобная же модуляция была обнаружена в авроральном свечении (в линии 427,8 нм) вблизи области, где отражался сигнал радара. Модуляция может быть обусловлена иррегулярными флуктуациями авроральных высыпаний. Хотя такие вариации интенсивности высыпаний не могут производить модуляцию электронной плотности более чем 1 %, но даже такая небольшая модуляция способна приводить к 50 % модуляции отражённого от земной поверхности сигнала. Измерения посредством ионозонда и метеорного радара подтверждают этот вывод. Из-за высокой частоты модуляции отражённого сигнала он воспринимается радаром как сигнал от метеорного следа.

5.2 Развитие моделей и методов анализа данных для мониторинга и прогноза состояния атмосферы, включая выявление закономерностей формирования и динамики мощных вихревых структур с учетом 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 учётом ветров

Турбулентные пульсации давления играют ключевую роль в фундаментальных исследованиях и прикладных задачах, связанных с взаимодействием турбулентного потока и обтекаемых структур. Пристеночные пульсации давления возбуждают вибрации элементов конструкций и генерируют гидродинамические шумы обтекания. Взаимодействие турбулентных потоков и упругих структур представляет значительный интерес в широком диапазоне прикладных задач акустики турбулентных потоков: в задачах прогноза и управления аэрогидродинамическим возбуждением колебаний элементов конструкций, корпусов самолётов, подводных лодок, высокоскоростных автомобилей и других транспортных средств. В наших исследованиях рассмотрен широкий круг вопросов — от аналитических моделей о пространственно-временной структуре полей пристеночных турбулентных пульсаций давления до прикладных вопросов, связанных с эффектами воздействия турбулентности на формирование шума. Большое внимание уделяется основным методическим вопросам проведения экспериментальных исследований, анализу данных и проблемам измерения турбулентных пульсаций давления в условиях воздействия разнообразных случайных помех — от традиционных акустических и вибрационных шумов до тепловых. Подробно представлены результаты экспериментальных исследований по изучению пространственно-временной структуры различных неоднородных полей пульсаций давления и вопросам их моделирования. Особое место занимают вопросы генерации шума под воздействием пульсаций давления и эффективности различных технических решений, относящихся к подавлению шумов и вибраций.

Исследована задача о влиянии структуры присоединённых потоков при ламинарном обтекании на поле пульсаций давления. В низкоскоростной аэродинамической трубе исследовано нестационарное движение неустойчивостей типа подковообразных вихрей и их влияние на интенсивность пульсаций давления. Разработан метод ослабления влияния неустойчивости в присоединённых ламинарных потоках. Исследован эффект воздействия неустойчивости типа подковообразных вихрей на поле пульсаций давления в ядре потока и на пульсации давления — в пограничном слое на поверхности обтекаемых тел.

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

Для изучения закономерностей генерации и последующей нелинейной динамики мощных вихревых структур в атмосфере исследовалось влияние на эти процессы

аэрозолей и электромагнитных полей. На атмосферу Земли оказывают постоянное влияние различные ионизирующие источники. В высокоширотной тропосфере в области геомагнитной полярной шапки в зимний период наблюдается возбуждение локальных циклонических структур с ледяными штормами, вторжениями в средние и даже субтропические широты. Установлено, что локализация полярных циклонов не случайна. Область полярной шапки связана с геомагнитными силовыми линиями, вытянутыми в хвост магнитосферы Земли. Для проникновения космических лучей в атмосферу Земли эта область открыта. Ионизация аэрозоля в стратосфере и верхней тропосфере высыпавшимися частицами космических лучей усиливает вихревую активность атмосферы. Важная роль аэрозольной примеси проявляется в генерации плазменных вихрей и накоплении вихрями энергии и массы в атмосфере при конденсации влаги. В атмосферном МГД-генераторе при неоднородном нагреве мозаичных ячеистых распределений ионизованного аэрозоля образуются плазменные вихри и накачиваются электрические поля, ортогональные геомагнитному полю. Было показано, что в плазменных неоднородностях стохастически возбуждаются апериодические электростатические возмущения, которые играют заметную роль в генезисе вихрей. В низких широтах над океаном возбуждаются мощные атмосферные вихри — торнадо. Время возбуждения полярных циклонов составляет 15–25 ч, что сопоставимо со временем возбуждения торнадо. Было показано, что природа вихрей магнитогидродинамическая. При взаимодействии плазменных вихрей и вихрей Россби формируется и нарастает крупномасштабная вихревая структура.

С помощью численных методов исследована временная динамика тропических циклонов. Для понимания динамики атмосферы необходимо учитывать внешние факторы, включая влияние солнечного и космического излучения. Для моделирования используется малопараметрическая модель, в которой на основе системы нелинейных дифференциальных уравнений для максимальной скорости ветра и температуры поверхности океана в зоне крупного атмосферного вихря описывается возникновение крупномасштабного вихря из слабой тропической депрессии и его последующая интенсификация. Обобщённая нелинейная модель содержит свободные параметры, которые могут зависеть от времени, и их выбором можно моделировать временную динамику регионального циклогенеза. Для среднепериодных вариаций фоновой обстановки в зоне крупномасштабного циклогенеза были рассмотрены генерации нескольких тайфунов с различными временами жизни. Показано, что зарождающиеся тропические циклоны более чувствительны к среднепериодным вариациям фоновой обстановки, чем к воздействиям короткопериодных вариаций фоновой обстановки. Путём подбора исходных параметров задачи можно получить соответствие между рассчитанной динамикой развития циклогенеза и данными наблюдений крупномасштабных тропических циклонов.

5.2.3 Исследование структуры и динамики концентрированных мезомасштабных вихрей в атмосферах планет

Целью выполненных работ, опубликованных в обзоре, являлось суммирование активно обсуждаемых в научной литературе результатов исследования концентрированных вихрей (КВ) в атмосфере. Основное внимание в обзоре уделяется пыльным вихрям. Из многочисленного класса КВ пыльные дьяволы выбраны как наиболее простые и наиболее оживлённо обсуждаемые в научной литературе вихри. Во втором разделе обзора кратко обсуждается процесс увлечения вихрями пыли, а также электродинамика вихрей, связанная с электризацией частиц пыли. В третьем разделе обсуждаются некоторые результаты наблюдений пыльных дьяволов в атмосферах Земли и Марса. Динамику развития вихрей можно условно разделить на три этапа: генерацию,

существование вихрей в квазистационарном состоянии и затухание. Кратко обсуждаются известные теоретические модели вихрей Рэнкина, Бюргерса и Салливана. Несмотря на то, что ни одна из этих моделей не описывает динамику КВ полностью, однако, все они используются до сих пор для описания отдельных деталей этого сложного природного явления. В последнем параграфе четвёртого раздела обзора обсуждается новая модель концентрированного вихря, предложенная авторами в двух работах. Новая модель соответствует точному решению уравнений Эйлера несжимаемой жидкости. Модель позволяет описывать трёхмерные вихревые структуры, экспоненциально локализованные не только в радиальном, но и в вертикальном направлении. На рисунке 5.2.3.1 представлены траектории частиц, которые в начальный момент находились на радиальном расстоянии $r = r_0$. Иллюстрация относится к вихрю с отношением характерных скоростей (тороидальной к полоидальной скорости) $v_{\phi 0}/v_0 = 5$. В безразмерных величинах характерный радиус вихря $r_0 = 2$ и характерный вертикальный масштаб вихря $L = 2,75$.

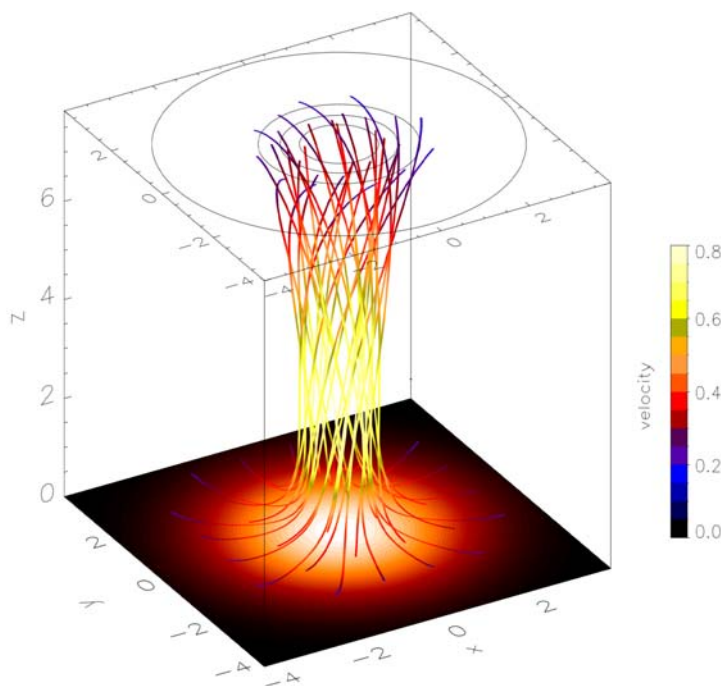


Рисунок 5.2.3.1 — Иллюстрация трёхмерных траекторий частиц в вихревом движении

В пятом разделе обзора обсуждается модель генерации джетов и концентрированных вихрей в неустойчиво стратифицированной атмосфере. В шестом разделе представлены результаты численного моделирования динамики вихрей в конвективно-неустойчивой атмосфере.

5.2.4 От теории к практике: применение концепции турбулентного вихревого динамо для ранней диагностики тропического циклогенеза и анализа anomalно-интенсивных атмосферных конвективных явлений на территории России, наблюдающихся в последние годы

Получен ответ на фундаментальный вопрос тропической метеорологии о начале циклогенеза, который до настоящего времени оставался открытым — «Когда зарождающийся тропический циклон (ТЦ) становится энергетически самоподдерживающимся и усиливающимся?» Обоснована ключевая роль вихревой облачной конвекции — вихревых горячих башен (ВГБ) — в обеспечении динамо-эффекта в атмосфере (см. рисунок 5.2.4.1).

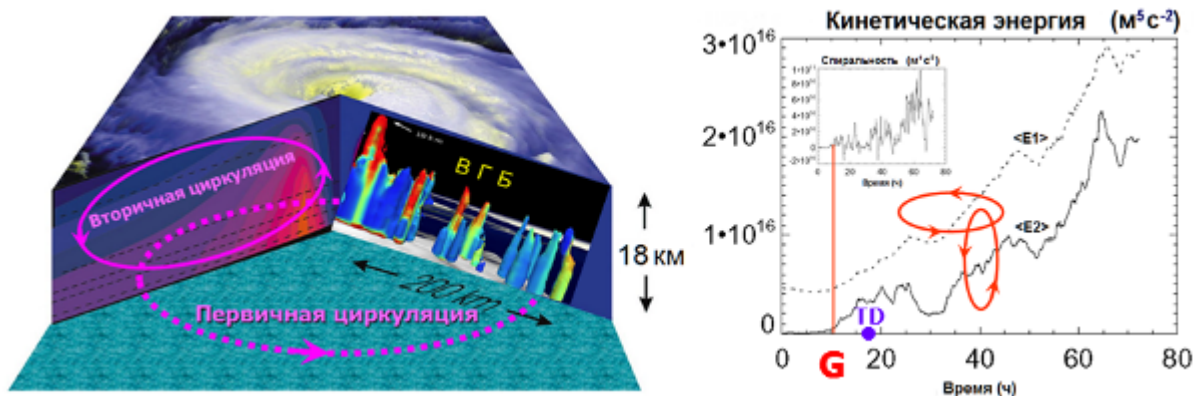


Рисунок 5.2.4.1 — Диагностика зарождения ТЦ — Genesis (G)

Анализ эволюции кинетической энергии первичной циркуляции E_1 и вторичной циркуляции E_2 позволяет определить момент времени G , когда начинается их взаимное усиление и формирующийся вихрь становится самоподдерживающимся. Необходимое условие усиления: мезомасштабная вихревая система должна стать спиральной через зацепление (linkage) первичной и вторичной циркуляции, что осуществляется конвективными структурами облачных масштабов — вихревыми горячими башнями (ВГБ); спиральность поля скорости, которая является количественной мерой зацепления (верхняя панель), в момент G становится резко нарастающей. Вихрь тропической депрессии (TD) образуется в результате дальнейшего развития возникшей неустойчивости.

Разработанный подход и полученные при его применении результаты рекомендованы метеорологам для практического использования в целях оперативной диагностики зарождения ТЦ. Распространение сферы исследований на интенсивные мезомасштабные вихри средних широт (квазитропический циклон над Черным морем, 2005 г.) позволило впервые обнаружить там присутствие вихревой облачной конвекции, являющейся необходимым элементом для возбуждения эффекта динамо. Полученные результаты являются новым вкладом в фундаментальную науку и имеют ярко выраженную очевидную значимость для практических задач по точному определению времени зарождения урагана.

5.2.5 Развитие методик анализа характеристик электрической турбулентности в грозовой облачности для выявления её роли в динамике долгоживущих спиральных вихрей

Согласно данным зондирования в крупномасштабных атмосферных вихрях обычно присутствуют заряженные подсистемы грозовой облачности, которые возбуждают электрические поля величиной порядка десятков киловольт на метр. Заряженные подсистемы атмосферы могут способствовать генерации крупномасштабных вихрей и значительно влиять на динамику атмосферных движений. Для разработки физических моделей, описывающих воздействие заряженных подсистем на формирование и последующую динамику спиральных ветров в атмосфере, а также для численного моделирования с использованием оптимальных схем параметризации, необходимо исследование характеристик сильной электрической турбулентности в атмосферной облачности. Расчёты показывают существенную роль электрической турбулентности в циклогенезе. Используя опубликованные данные измерений вертикального профиля

электрического поля был продолжен анализ структурных функций электрической турбулентности в атмосфере, включая расчёты скейлинговых экспонент, поиск инерционных интервалов в спектре электрических полей, оценки роли перемежаемости электрической турбулентности и присутствия в ней когерентных структур. Это направление исследований представляет интерес для развития современных методик обработки данных дистанционного зондирования атмосферы, для выработки корректной физической интерпретации результатов обработки экспериментальных данных.

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

5.3.1 Оперативная автоматическая оценка облачной обстановки для управления космической съёмкой в целях повышения её эффективности

При проведении высокдетальной съёмки с космического аппарата (КА) достаточно часто возникает ситуация, когда область, предназначенная для съёмки, может оказаться частично или полностью скрыта облаками. В результате полученные снимки либо имеют скрытые участки, либо полностью непригодны, и таким образом данный пролёт спутника тратится неэффективно. Подобная неудачная съёмка также означает неэффективное же расходование ресурсов КА и, возможно, большое время ожидания следующего витка, что может быть важно в условиях, когда требуется оперативная съёмка. В то же время какие-либо соседние участки, тоже лежащие в полосе обзора КА, которые также могут представлять интерес для получателя данных, могут быть свободны от облачности и доступны для съёмки. Предварительное планирование на основе данных геостационарных спутников и/или прогноза погоды не может полностью исключить описанную ситуацию из-за недостаточной детальности и оперативности, а также возможности относительно быстрого изменения распределения облачности. Предлагается дополнить аппаратуру КА дополнительной камерой предварительного обзора (КПО), установленной под углом в направлении движения, которая позволит получить оперативные данные о распределении облачности в районе предполагаемой съёмки, автоматически силами бортовой ЭВМ обработать эти данные и принять решение о возможности съёмки запланированного участка или переключении на альтернативную программу съёмки. Для решения задачи поиска облачности на спутниковых снимках анализировались различные методы, как то:

- Классические методы поиска на основе многоканального изображения используют различия в характеристиках поглощения или отражения;
- Методы на основе панхроматического изображения;
 - Методы на основе классических алгоритмов классификации;
 - Методы на основе псевдостереообработки.
- Совместное использование методов для повышения достоверности.

Предлагается иной подход: на основе современных алгоритмов анализа движения, а точнее — метода вычисления оптического потока, позволяющий вместо нахождения абсолютной высоты облачности лишь зафиксировать наличие разности высот облака и подстилающей поверхности, что достаточно для задачи поиска безоблачных участков, но может быть реализовано с меньшими затратами машинного времени. Это было опробовано на реальных данных (изображений) различных существующих спутников.

5.3.2 Выбор оптимальных характеристик миниатюрного лидара в задаче проведения полного (минимального) набора калибровок для интерпретации сигнала обратного рассеяния

Проведено моделирование обратного сигнала в параксиальном приближении для коаксиальной схемы зондирования. Полученное выражение даёт зависимость обратного сигнала от поля зрения. Для схемы, в которой угловые размеры пучка и поля зрения равны, отношение сигнальных и фоновых фотоотсчётов является максимальным. Рассмотрена задача создания миниатюрных схем с использованием световолоконных делителей. При использовании лазеров с малым уровнем мощности выходного излучения, обратный сигнал из атмосферы локализован в диапазоне до 100 м. Предложена коаксиальная схема лидара с совмещёнными приёмным и передающим каналами с использованием световолоконного делителя. Для калибровки такой схемы достаточно использовать перфорированные экраны и плоскую зеркальную поверхность. На примере приёмного и передающего каналов с предельно малым уровнем мощности выходного пучка продемонстрирована возможность измерений обратного сигнала от поверхности зеркала. Рассмотренная схема может быть реализована в миниатюрном варианте с низким уровнем мощности зондирующего пучка. Предложенная конфигурация лидара с использованием световолоконных разветвителей (делителей) практически исключает угловые смещения оптических осей приёмного и передающего каналов.

5.3.3 Алгоритмы управления и взаимодействия автоматической системы оценки облачности на борту космического аппарата

Рассматривались технические и алгоритмические аспекты схемы применения ранее предложенного проекта камеры предварительного обзора, предназначенного для повышения результативности высокодетальной оптической спутниковой съёмки в условиях возможного наличия облачности. Облачность является серьёзным помеховым фактором при проведении спутниковой съёмки в оптическом диапазоне. Современные методы борьбы с помехой, не включающие смену диапазона наблюдения, в основном заключаются в организационных мерах по планированию съёмки с учётом прогноза наличия облачности или последующей шивки безоблачных участков. Такой прогноз осуществляется в основном на этапе планирования съёмок и может быть недостаточно оперативным и точным в условиях постоянно изменяющихся метеоусловий. Предложенный метод, по сути, также включает планирование съёмки безоблачных участков, но, за счёт размещения оборудования по наблюдению за облачностью вперёд по трассе пролёта на борту и автоматизации процесса, качественно улучшает результат и обеспечивает новый уровень его точности и оперативности. Анализировалась общая идея предлагаемого метода и алгоритм его работы. Особое внимание при этом уделено алгоритму работы комплекса, схеме принятия решения, взаимодействию спутниковой и наземной частей системы. Алгоритм работы бортового комплекса должен автоматически обеспечивать выбор наиболее приоритетного из съёмочных заданий, заданных оператором, с учётом наличия облачности непосредственно в момент съёмки. При этом важно оставить возможность включения в план высокоприоритетных заданий, выполнение которых, не зависит (или зависит в меньшей степени) от наличия облачности. Также важным моментом является учёт выполненных заданий, включающий контроль качества, в том числе с участием оператора, и пересортировка оставшихся для выполнения при следующем пролёте над заданным районом. Были рассмотрены также некоторые связанные аспекты технической реализуемости и примеры обработки.

5.4 Исследование вариаций рентгеновской атмосферной эмиссии по данным спутниковых экспериментов.

Источниками тепловых нейтронов, составляющих часть атмосферного приземного радиационного фона, являются альbedo космических лучей от земной поверхности и ядерные реакции распада природного радона. Мониторинг тепловых нейтронов является полезным инструментом при исследовании динамики переходного слоя атмосферы. В кооперации с лабораторией природной радиации Института аэрокосмических технологий (Sao Jose dos Campos, Бразилия) продолжен мониторинг компонент природного радиоактивного фона для изучения его связи с метеорологическими, климатическими и другими явлениями. Год назад комплекс приборов был дополнен детектором α -частиц. Это позволило получить новую информацию о происхождении нейтронов в приземной атмосфере: совпадение профилей дневных вариаций потоков α -частиц и быстрых нейтронов. Это указывает на возможную общность их источника. В отличие от тепловых нейтронов, быстрые нейтроны вследствие их большой энергии не участвуют в атмосферной конвекции и, следовательно, их вариация обусловлена только вариацией их источника. Поскольку дневная вариация космических лучей неизмеримо меньше наблюдаемой, то единственным возможным источником быстрых нейтронов остаётся ядерная реакция (α, n) с окружающим веществом, где источником α -частиц является распад природного радона. В настоящее время нами на основе пакета GEANT разрабатывается программное обеспечение для моделирования генерации и транспорта нейтронов в процессе диффузии радона в почве и распространения его в атмосфере. Это позволит точно определить вклад различных компонент цепи распада радона в приземный поток нейтронов.

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

На сегодняшний день, в ходе исследования возможностей применения нейросетевых методик для задач восстановления профилей влажности и температуры тропосферы по микроволновым радиометрическим измерениям из космоса были проведены работы по созданию соответствующих алгоритмов на основе данных моделирования и реальных данных измерений из космоса. Моделирование проводилось для радиометрического комплекса МИРС разрабатываемого в 55 отделе, как часть научной аппаратуры космического эксперимента «Конвергенция». Основной задачей прибора МИРС в КЭ является построение трёхмерных полей температуры и влажности атмосферы на основе радиометрических измерений в диапазоне 18–220 ГГц. Для восстановления профиля влажности атмосферы комплекс МИРС оснащён набором из 7 радиометрических каналов в области линии поглощения водяного пара 183,31 ГГц, которые, теоретически, позволяют проводить восстановление профиля влажности в 7 атмосферных слоях на высотах от 3 до 10 км. Для того чтобы обеспечить восстановление профиля влажности в нижней части тропосферы — до 4 км, комплекс МИРС оснащён тремя дополнительными радиометрическими каналами в области линии поглощения водяного пара на частотах 24,5–26,5 ГГц. Использование этих низкочастотных каналов является новым подходом для восстановления профиля влажности нижней части тропосферы, который был предложен авторами проекта и получил название «Дифференциального метода». Применение дифференциального метода обеспечит восстановление трёх дополнительных слоёв в нижней части тропосферы и в итоге позволит восстанавливать в ходе КЭ «Конвергенция» профиль влажности в 10 атмосферных слоях от 0 до 10 км с вертикальным разрешением порядка 1 км. Для

разработки алгоритмов восстановления было проведено моделирование радиометрических данных МИРС. Моделирование выполнялось с помощью разработанной радиофизической модели системы океан-атмосфера и данных реанализа ECMWF Era-interim для условий наблюдения с борта МКС. Были смоделированы данные МИРС за одни сутки наблюдений, что составляет порядка 1,5 млн пикселей данных. Из смоделированных данных МИРС были сформированы обучающая и проверочная выборки для построения и тестирования нейросети. В результате был разработан нейросетевой алгоритм, который при использовании модельных данных, позволяет обеспечить восстановление профиля абсолютной влажности атмосферы с относительной ошибкой не более 20 в 90 % пикселей. В предложенном алгоритме предполагается использование нескольких отдельных ИНС, каждая из которых восстанавливает влажность на отдельном высотном уровне атмосферы. Каждая ИНС имеет схему прямого распространения с 1 скрытым слоем, содержащим 100 нейронов. Входными данными для ИНС являются яркостные температуры влажностных каналов прибора МИРС и профиль температуры атмосферы. В ходе работы было показано, что качество имеющегося профиля температуры атмосферы, как и зашумлённость радиометрических данных, напрямую влияет на качество восстановления профиля влажности. Использование в качестве входных радиометрических данных для ИНС каналов 24,5–26,5 ГГц совместно с каналами на склоне линии поглощения 183,31 ГГц позволяет существенно уменьшить ошибку восстановления профиля влажности на высотах от 2 до 5 км.

Аналогичный подход был применён для разработки алгоритма восстановления профиля влажности атмосферы по реальным данным спутникового пассивного микроволнового ДЗЗ. Для этого использовались имевшиеся данные отечественного прибора МТВЗА-ГЯ «Метеор-М» № 2-1 за 2015–2016 гг. МТВЗА-ГЯ имеет 29 радиометрических каналов, из которых только 3 предназначены для зондирования профиля влажности: $183,31 \pm 1,4$; $183,31 \pm 3$; $183,31 \pm 7$ ГГц. Максимумы весовых функций этих каналов находятся на высотах 5,3; 2,9 и 1,5 км по данным работы (Болдырев и др., Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2008. Т. 1. № 5. С. 243–248.), однако, возможно они были рассчитаны для условий очень низкой интегральной влажности атмосферы. Для зондирования влажности в нижней тропосфере обычно используется частотный канал 91 ГГц, который слабо пригоден для этих целей при наличии облачности ниже 3 км. Кроме того, весовые функции выше перечисленных 4 частотных каналов существенно смещаются вверх (на 4–5 км) при значениях интегральной влажности атмосферы присущей тропическим областям — порядка 40 мм и не позволяют получить удовлетворительного высотного разрешения при зондировании влажности тропосферы ниже 4 км. Используя частотные каналы 18,7–37 ГГц МТВЗА-ГЯ можно получить две дифференциальные весовые функции, схожие с представленными в работе (Стерлядкин и др., Исслед. Земли из космоса, 2017. № 2. С. 64–76.), которые покрывают область тропосферы ниже 4 км и при этом существенно менее чувствительны к облачности. Важным фактором, влияющим на качество восстановления профиля влажности атмосферы, является наличие информации о её температурном профиле. МТВЗА-ГЯ оснащён 10 каналами в области полосы поглощения кислорода 50 – 60 ГГц, что позволяет восстанавливать профиль температуры атмосферы до высот порядка 60 км. Таким образом, на основе данных МТВЗА-ГЯ, теоретически, можно проводить восстановление профиля влажности на 4–5 атмосферных уровнях до высот порядка 6–7 км. Для обработки данных МТВЗА-ГЯ был предложен нейросетевой алгоритм, состоящий 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, схематически алгоритм представлен на рисунке 5.5.1.

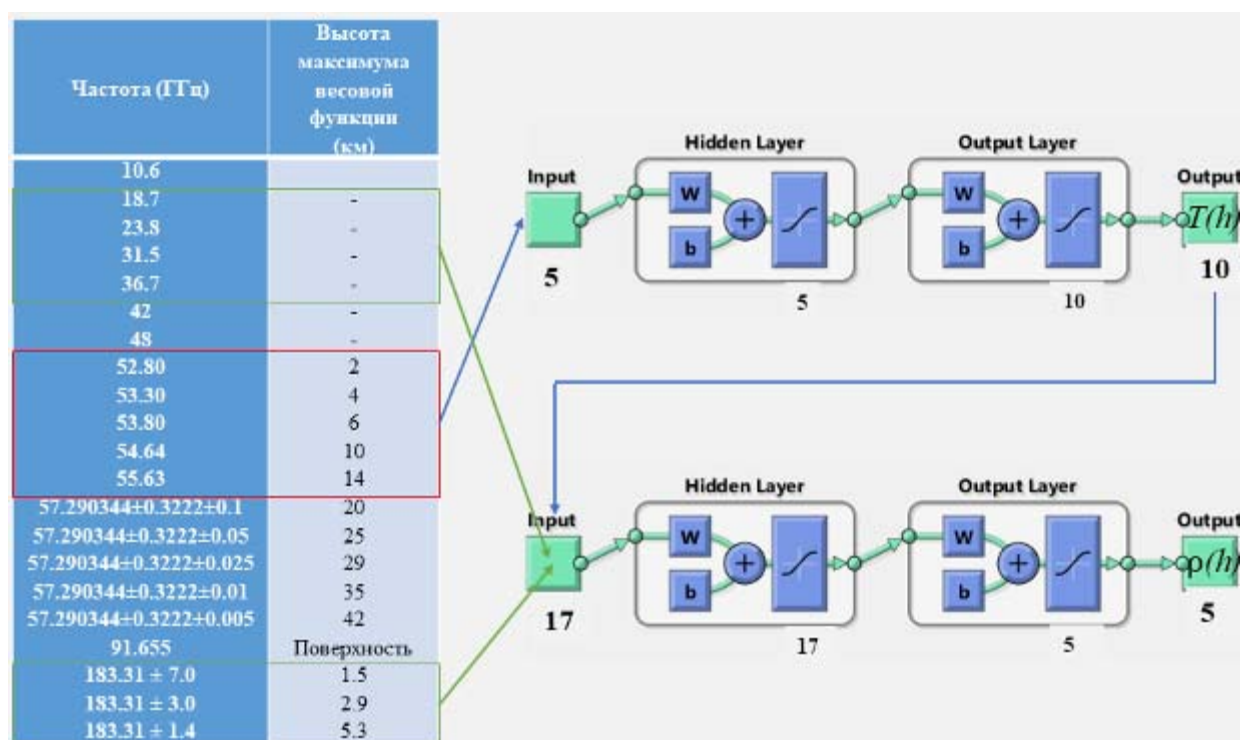


Рисунок 5.5.1 — Схема нейросетевого алгоритма восстановления профиля влажности атмосферы по данным МТВЗА-ГЯ

Для обучения и тестирования ИНС использовались данные радиозондирования из базы IGRA-2. В Мировом океане существует 59 малых островов, площадь которых сопоставима с размером пикселя данных МТВЗА-ГЯ (32×32 км) на которых присутствуют метеостанции и происходят запуски радиозондов. На 20 малых островах, радиозондовые измерения совпадали с пролётом спутника «Метеор-М» № 2-1 с расхождением по времени не более 10 мин. Географическое расположение малых островов представлено на рисунке 5.5.2. За 2015–2016 гг. такие совпадения произошли 3500 раз и из полученных наборов спутниковых и подспутниковых измерений были случайным образом сформированы обучающая и тестовая выборки для разработки нейросетевого алгоритма. После проведения обучения ИНС была оценена относительная ошибка восстановления профиля абсолютной влажности тропосферы в 5 слоях 0–1; 1–2; 2–3; 3–4; 4–6 км, которая составила соответственно: 7, 10, 15, 20, 25 %. Такое качество восстановления профиля влажности атмосферы укладывается в требования Всемирной Метеорологической Организации и, следовательно, результаты восстановления могут быть использованы для исследований климатических процессов. Восстановление влажности на более высоких атмосферных уровнях пока является затруднительным с использованием предложенного подхода, поскольку измерения радиозондов в верхней части тропосферы могут иметь существенную погрешность (до 40 %) и возможность использования их в качестве источника данных для обучения ИНС необходимо дополнительно исследовать. Также требуют исследования чувствительность радиометрических измерений МТВЗА-ГЯ к изменениям влажности на высотах выше 6 км. Возможно, для этих целей в будущем будут использованы данные реанализа.

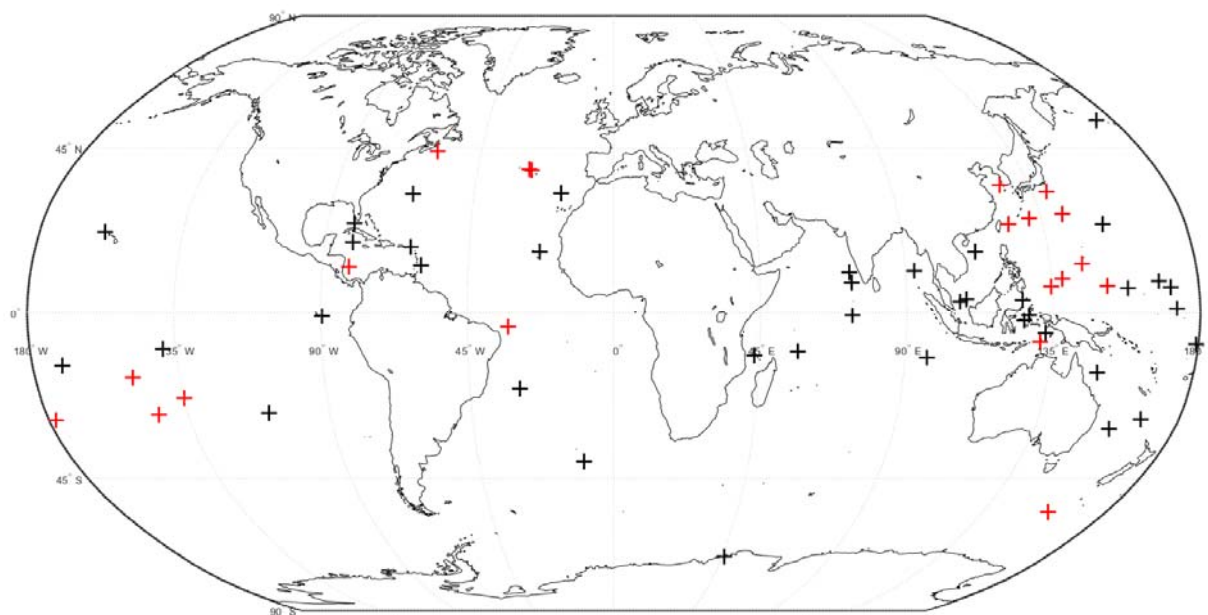


Рисунок 5.5.2 — Географическое расположение всех малых островов, имеющих метеостанции с возможностью запуска радиозондов (крестики). Красными крестиками отмечены острова, на которых были совпадения подспутниковых измерений с измерениями МТВЗА-ГЯ «Метеор-М» № 2-1

Заключение

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

РАЗДЕЛ 6 МОНИТОРИНГ-ЭФФЕКТ

Введение

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

- развитие методов ДЗЗ аппаратурой с пространственным спектральным расщеплением светового пучка на основе мультисенсорных данных космического комплекса «Метеор-М» № 3. Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 6.1 настоящей главы;
- разработка методики и проведение полётной радиометрической калибровки приборов КМСС-М и КМСС-2. Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 6.2 настоящей главы;
- разработка методов и алгоритмов автоматической полётной геометрической калибровки КМСС-М и КМСС-2, в том числе, создание банка контрольных точек. Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 6.3 настоящей главы

В настоящем разделе рассматриваются вопросы, связанные с разработкой научных основ повышения качества данных и систем спутниковых наблюдений, создания перспективных методов и подходов в развитии спутниковых систем ДЗЗ.

Основные результаты, полученные в 2019 году изложены в публикациях, приведенных в конце отчёта [46-50].

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

Схема съёмки с разнесёнными в пространстве проекциями чувствительных элементов, используемая в съёмочной аппаратуре среднего пространственного разрешения КМСС на КА «Метеор-М» № 01 и 02 из состава космического комплекса «Метеор-3М», обуславливает ряд технических сложностей с синтезе многозональных изображений, который можно произвести лишь при условии достаточно точного знания параметров орбитального и углового движения КА на интервале съёмки.

Для устранения данного недостатка в приборах МСУ-100ТМ из состава аппаратуры КМСС-2, была разработана принципиально новая схема построения хода лучей, позволяющая одновременно фиксировать изображение одной и той же области земной поверхности на трёх физически разнесённых линейных ПЗС-приёмниках спектральных каналов.

Изображения наблюдаемых объектов в трёх спектральных каналах формируются оптической системой, состоящей из специализированного объектива и призматического спектроделителя. Световой поток от бесконечно удалённого объекта попадает на входную апертуру объектива, фокусируется в световой пучок и разделяется на три составляющие по спектральному признаку на дихроических зеркалах. Точное формирование зон пропускания и подавления обеспечивается полосовыми интерференционными фильтрами, установленными на выходных окнах спектроделителя (рисунок 6.1.1).



Рисунок 6.1.1 — Схема расщепление светового пучка на призменном спектроделителе с дихроическими зеркалами и полосовыми фильтрами. Канал 1 имеет полосу пропускания 0,52–0,59 мкм, канал 2 — 0,64–0,69 мкм, канал 3 — 0,785–0,900 мкм

Особенностью объектива является оптическая схема с телецентрическим ходом лучей в заднем отрезке, когда при входном угловом поле зрения $\pm 16^\circ$ выходные пучки падают на фокальную плоскость под постоянным углом $90 \pm 2,5^\circ$ (рисунок 6.1.2). Благодаря тому, что угол падения пучков света близок к перпендикуляру по всей фокальной плоскости, интерференционные покрытия формируют одинаковые границы полос пропускания для всего углового поля зрения объектива.

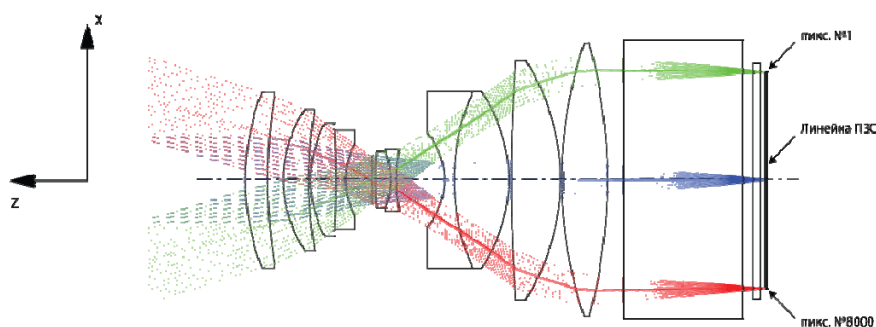


Рисунок 6.1.2 — Телецентрический ход лучей в заднем отрезке оптической системы прибора МСУ-100ТМ

Полученные результаты испытаний аппаратуры в натурных условиях на борту космического аппарата показали, что заложенные в расчётах и конструкции прибора подходы обеспечивают точность синтеза многозональных изображений со среднеквадратической ошибкой несовмещения менее половины размера проекции чувствительного элемента в пределах полосы захвата на земной поверхности более 1000 км.

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

Полётная радиометрическая калибровка камер МСУ-100М (МСУ-201, МСУ-202) и МСУ-50М (МСУ-250), входящих в Комплекс многозональной спутниковой съёмки КМСС-М на КА «Метеор-М» № 2, проведена в январе-феврале 2019 г. по однородным снежным полям Антарктиды. Изображения КМСС-М выбирались по признаку наличия протяжённых однородных участков, наблюдаемых в безоблачных условиях. Число строк, по которым проводилась оценка чувствительности элементарных детекторов камер, составило 30–50 тысяч в зависимости от камеры. Рассчитаны коэффициенты коррекции

чувствительности элементарных детекторов ПЗС-линеек камер КМСС-М по сравнению с результатами за 2018 г. В большинстве случаев коэффициенты коррекции не превышают нескольких процентов, т.е. находятся в пределах ошибок калибровки, что свидетельствует как о стабильности чувствительности КМСС-М, так и о стабильности отражательных характеристик Антарктиды. Распределение коэффициентов чувствительности элементарных детекторов показано на рисунке 6.2.1. По результатам калибровки сформированы актуальные файлы радиометрической калибровки камер КМСС-М.

Оценка радиометрических характеристик аппаратуры КМСС-2 на КА «Метеор-М» № 2-2 в ходе лётных испытаний (июль – ноябрь 2019г.) проводилась путём сравнения яркостных характеристик естественных природных объектов, регистрируемых камерами МСУ-100ТМ (МСУ-221 и МСУ-222), входящими в состав КМСС-2, с данными MODIS Terra/Aqua. В качестве полигона был выбран район Гренландии. На рисунках 6.2.2 и 6.2.3 представлены результаты сопоставления коэффициента спектральной яркости (КСЯ), регистрируемого в спектральных каналах КМСС-2 и в соответствующих спектральных каналах MODIS, которые близки к каналам КМСС-2. Для пересчета КСЯ, регистрируемых в спектральных каналах MODIS в спектральные каналы КМСС-2 были использованы регрессионные соотношения. Результаты для аппаратуры КМСС-2 являются предварительными. Основные работы по радиометрической калибровке запланированы на начало 2020 года (январь – февраль) и будут проводиться по однородным снежным полям Антарктиды.

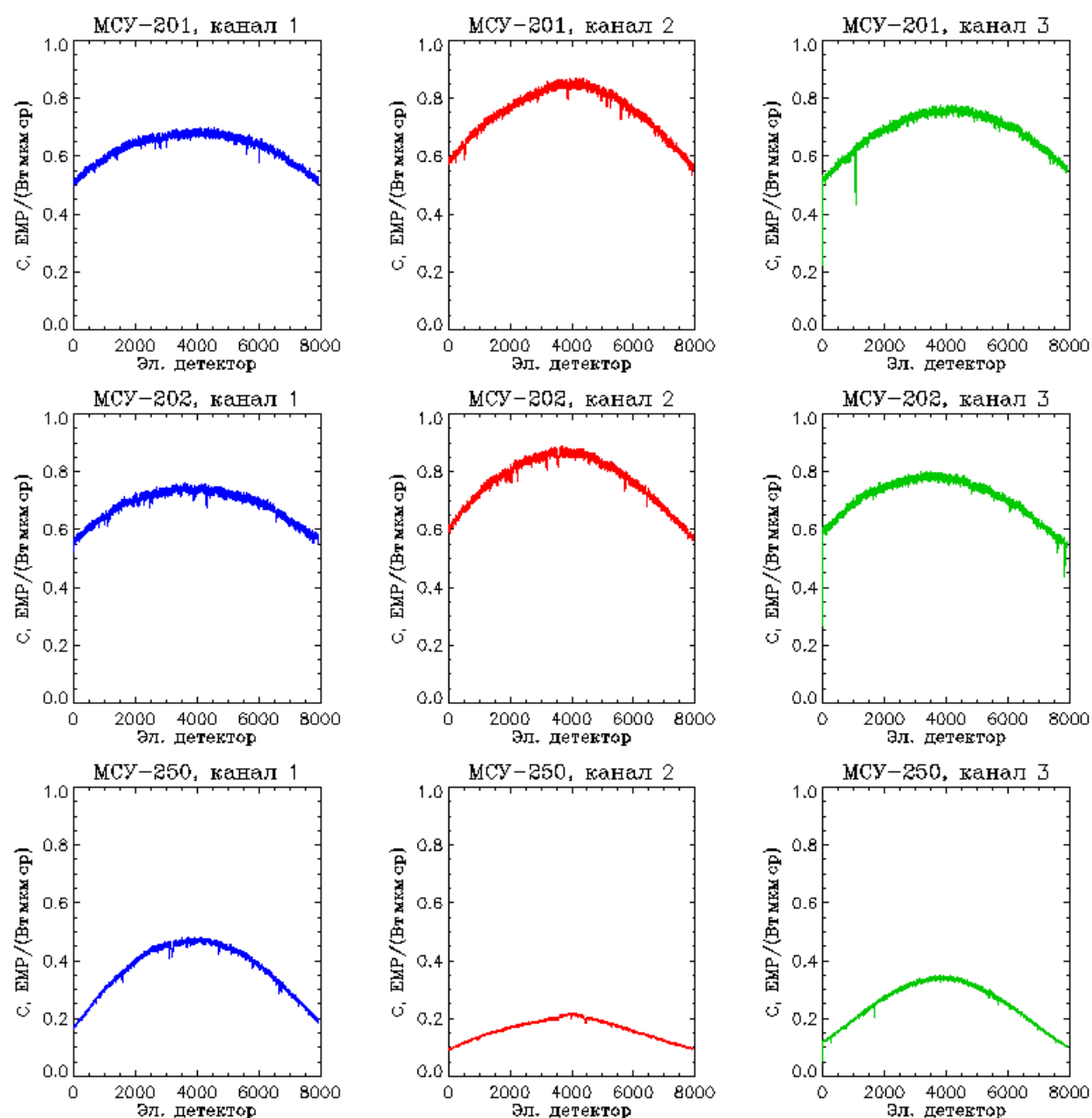


Рисунок 6.2.1 — Коэффициенты чувствительности элементарных детекторов по результатам калибровки в январе – феврале 2019 г.

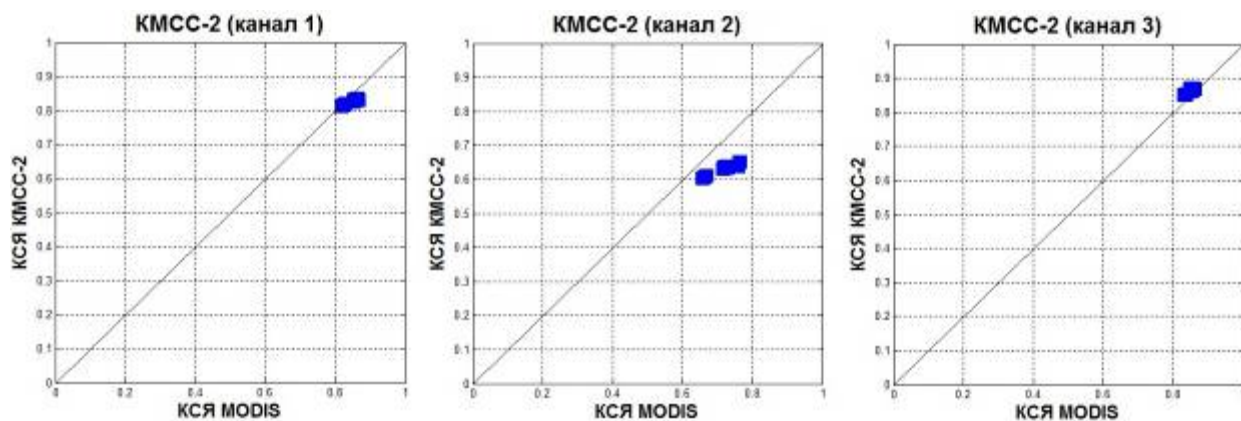


Рисунок 6.2.2 — Соотношение КСЯ в спектральных каналах КМСС-2 по измерениям МСУ-221 и MODIS

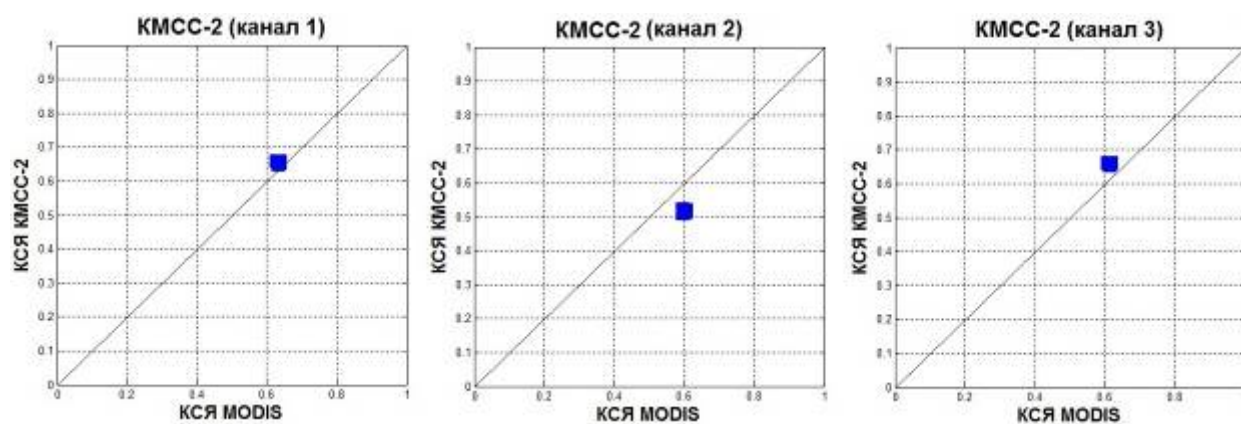


Рисунок 6.2.3 — Соотношение КСЯ в спектральных каналах КМСС-2 по измерениям МСУ-222 и MODIS

6.3 Разработка методов и алгоритмов автоматической полётной геометрической калибровки КМСС-М и КМСС-2, в том числе создание банка контрольных точек

Проведена полётная геометрическая калибровка комплекса многозональной спутниковой съёмки КМСС-2 на КА «Метеор-М» № 2-2, который был выведен на орбиту в июле 2019 г. В состав КМСС-2 входят две идентичные трехзональные камеры МСУ-100ТМ, условно обозначаемые МСУ-221 и МСУ-222, с тремя взаимозаменяемыми ПЗС-линейками в каждом канале, имеющие разрешение в надире 55 м и суммарную полосу обзора 1020 км. Калибровка КМСС-2 была проведена по изображениям 32 маршрутов, снятым в августе – ноябре 2019 г., с использованием банка контрольных точек (КТ), созданного по данным Sentinel (рисунок 6.3.1). На изображениях было распознано 534–3025 КТ в зависимости от камеры, спектрального канала и ПЗС-линейки. Для каждой ПЗС-линейки определены основные элементы внутреннего ориентирования: фокусное расстояние, положение плоскости наблюдения и коэффициенты дисторсии и по ним рассчитана проекционная функция. Определён оптимальный набор ПЗС-линейек в спектральных каналах, обеспечивающая их расхождение не более, чем на 5,5 угл.мин: линейка 3 в канале 1 и линейки 1 в каналах 2 и 3 (рисунок 6.3.2). Проверка точности калибровки проводилась по среднему смещению КТ на 16 дополнительных кадрах, которые ранее не использовались при калибровке. Среднеквадратическая ошибка геопривязки изображений составила 12–39 м вдоль трассы и 16–30 м поперёк трассы

полёта в зависимости от камеры, канала и ПЗС-линейки, максимальная ошибка — 96 м вдоль трассы и 45 м поперёк трассы. Среднеквадратическая ошибка межканального совмещения изображений составила 3–4 м, максимальная — 8 м (0,15 пикселя). Результаты калибровки хранятся в файлах геометрической калибровки камер, которые используются для межканального совмещения и географической привязки изображений.

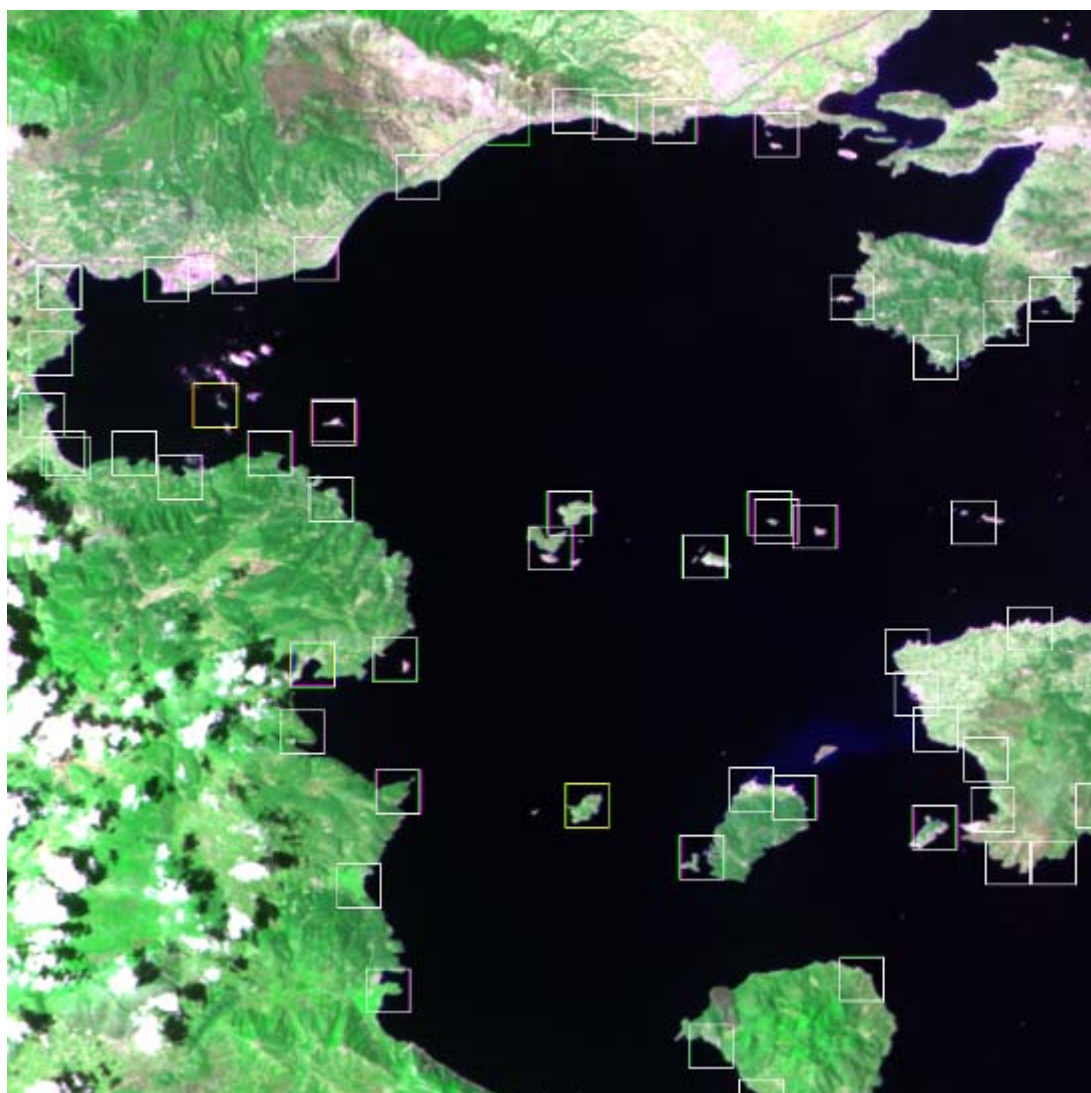


Рисунок 6.3.1 — Распознанные контрольные точки Sentinel на фрагменте изображения МСУ-221. Контрольные точки, распознанные в канале 1, показаны зелёным цветом, в канале 2 — красным, в канале 3 — синим, в каналах 1 и 2 — жёлтым, в каналах 1 и 3 — пурпурным, в каналах 2 и 3 — сине-зелёным, во всех трёх каналах — белым цветом

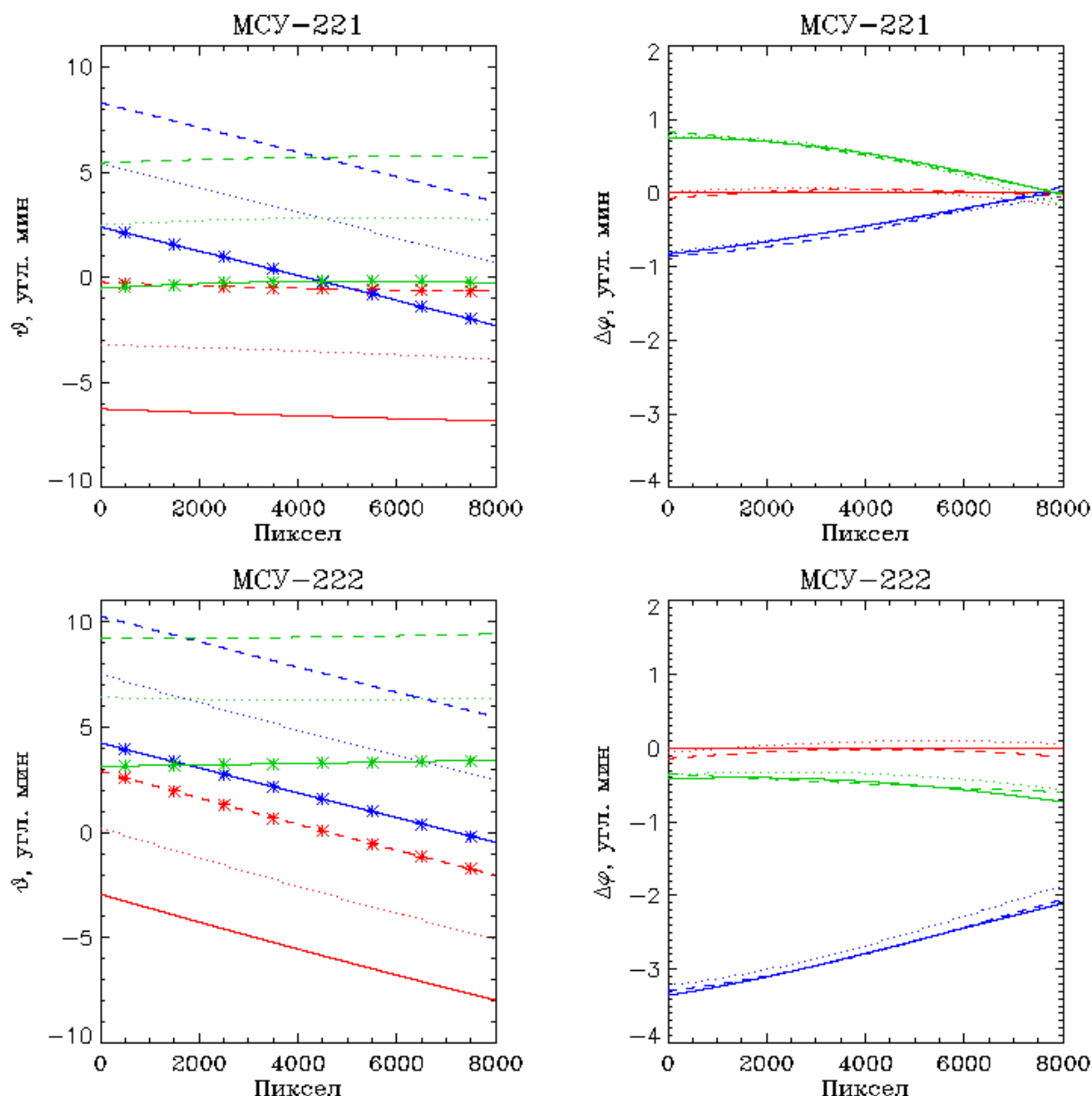


Рисунок 6.3.2 — Зависимость угла наблюдения вдоль трассы полёта φ и разности углов наблюдения поперёк трассы полёта $\Delta\varphi$ между данной ПЗС-линейкой и первой ПЗС-линейкой первого канала в приборной системе координат по результатам калибровки (канал 1 — красный цвет, канал 2 — синий цвет, канал 3 — зелёный цвет; ПЗС-линейка 1 — сплошная линия, ПЗС-линейка 2 — пунктирная линия, ПЗС-линейка 3 — штриховая линия). Звёздочками обозначен оптимальный выбор ПЗС-линеек.

Заключение

Работы по теме «Мониторинг-Эффект» выполнялись в соответствии с утверждённым планом. Предложенные методы пространственного спектрального расщепления светового пучка в конструкции приборов КМСС-2, а также методы и алгоритмы обработки целевых данных позволили обеспечить высокоточный автоматический синтез и географическую привязку многозональных изображений в пределах полосы захвата на земной поверхности более 1000 км, а также заявленные точности радиометрической и геометрической калибровки.

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 интернете.

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

- проведение ежегодной Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 7.1 настоящей главы;
- проведение научных семинаров и школ-конференций по фундаментальным проблемам ДЗЗ из космоса. Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 7.2 настоящей главы;
- выпуск журнала «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 7.3 настоящей главы;
- 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».

Результаты, полученные по данному направлению, описаны в разделе 7.4 настоящей главы.

Настоящий раздел посвящён описанию мероприятий, выполненных в рамках направления «Мониторинг-Инфраструктура» в 2019 г. Информация о полученных в данном направлении результатах также представлена в работе [28].

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

11–15 ноября 2019 г. в Институте космических исследований Российской академии наук прошла Семнадцатая Всероссийская открытая конференция с международным

участием «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

Всероссийские открытые конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» ежегодно проводятся в ИКИ РАН, начиная с 2003 года. Конференция охватывает практически все направления исследования Земли из космоса. В ней принимают участие учёные и специалисты, ведущие разработки и научные исследования, связанные с анализом и использованием спутниковых данных для решения различных научных и прикладных задач.

В 2019 году в работе конференции принимали участие учёные России, Австрии, Белоруссии, Болгарии, Великобритании, Германии, Индии, Казахстана, Кыргызстана, Таджикистана и Узбекистана. На Конференции было представлено 537 докладов, из них 288 устных и 249 стендовых. В конференции зарегистрировалось около 800 человек из 10 стран, 67 городов и из 204 организаций.

В 2019 г. работа конференции осуществлялась в рамках следующих секций:

- методы и алгоритмы обработки спутниковых данных;
- технологии и методы использования спутниковых данных в системах мониторинга;
- создание и использование приборов и систем для спутникового мониторинга состояния окружающей среды;
- 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.

Было проведено два пленарных заседания. Первое пленарное заседание проходило в день открытия Конференции, 11 ноября, и было посвящено актуальному состоянию систем дистанционного зондирования Земли и обработке и анализу пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов. На нем сделали доклады представители Роскосмоса, Росгидромета (из Москвы и Хабаровска), Белорусского государственного университета (Минск) и Института вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск). Второе пленарное заседание, которое состоялось 14 ноября, было посвящено возможностям наблюдения и мониторинга катастрофических событий и их последствий (на основе данных дистанционного зондирования из космоса). На нем было представлено доклады, посвящённые катастрофическим явлениям, произошедшим за период между конференциями 2018 и 2019 годов, в том числе:

- обрушению сопки в районе реки Буря;
- взрывному извержению вулкана Райкоке (Курилы);
- паводковой обстановке на реке Амур;
- аномальной ситуации с лесными пожарами на территории России в 2019 г.

В рамках Конференции было проведено два Круглых стола:

- Российско-британский круглый стол «Развитие международного сотрудничества между научными проектами по исследованию бореальных наземных экосистем в условиях климатических изменений». На круглом столе, организованном при поддержке Российского научного фонда (проект №19-77-30015) и Научно-инновационной сети Великобритании в России, были представлены выполняемые российскими и британскими учёными исследования, в том числе совместные, в области климатогенной динамики

различных компонентов наземных экосистем, включая леса, почвы, болота, тундры, а также научные проекты по изучению биогеохимических циклов в бюджетах углерода в бореальных лесах. В рамках круглого стола была проведена панельная дискуссия по приоритетным вопросам и перспективам международного сотрудничества по обсуждаемым научным направлениям.

- Круглый стол по обмену опытом международного сотрудничества «Использование спутниковых данных для изучения и мониторинга водных ресурсов и аграрного сектора Центральной Азии» (опыт международного сотрудничества)». Основной темой данного круглого стола было обсуждение актуальных вопросов использования возможностей современных спутниковых методов и технологий для решения задач мониторинга водных и сельскохозяйственных ресурсов Центральной Азии, а также вопросы сотрудничества научных коллективов различных стран в данном направлении.

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.

Восемнадцатую Всероссийскую открытую конференцию с международным участием «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» планируется провести в Москве в ИКИ РАН 16–20 ноября 2020 г.

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 Семнадцатой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» прошла Пятнадцатая Всероссийская научная школа-конференция по фундаментальным проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса. Во время проведения Школы-конференции были прочитаны, в частности, следующие лекции ведущими российскими и британскими учеными по проблемам исследования бореальных экосистем в условиях климатических изменений с использованием данных космических наблюдений:

1. Проф. С.А. Барталёв, ИКИ РАН Методы и результаты оценки состояния и динамики лесов России в XXI веке на основе данных спутниковых наблюдений
2. Dr. Gareth Rees, Scott Polar Research Institute, University of Cambridge Remote sensing of high-latitude vegetation
3. Dr. Robert Baxter, Durham University Environmental change in boreal/Arctic biomes: carbon dynamics and the importance of spatial scale
4. Prof. Kevin Tansey, University of Leicester New ways to seeing the Earth from space with the European Sentinel satellites
5. Канд. техн. наук С.А. Хвостиков, ИКИ РАН Глобальные динамические модели растительности и их интеграция с данными ДЗЗ.
6. Проф. Д.Г. Щепаченко, ИАСА Использование продуктов дистанционного зондирования для моделирования углеродного бюджета лесов и лесного

хозяйства: опыт Международного института прикладного системного анализа (IIASA)

7. Канд. техн. наук Д.В. Ершов, ЦЭПЛ РАН Оценка эмиссий углерода от пожаров в лесах России на основе результатов спутникового мониторинга
8. Канд. биол. наук В.В. Елсаков, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН Анализ изменений растительного покрова Полярного Урала как индикатора климатогенных изменений
9. Канд. геогр. наук Н.В. Шабанов, ИКИ РАН Фенологические изменения в северных лесах России на основе анализа временных рядов MODISLAI

Молодые учёные представили 58 устных и 53 стендовых докладов в рамках основных научных секций, из которых 109 докладов было выставлено на конкурс работ молодых учёных.

С материалами школы можно познакомиться по адресу: <http://smiswww.iki.rssi.ru/school/default.aspx?page=18>.

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

9–13 апреля 2019 г. в Тарусе на базе представительства Интеркосмос ИКИ РАН провёл Десятую международную Школу-семинар: «Спутниковые методы и системы исследования Земли». Было прочитано 6 лекций по различным направлениям дистанционного исследования океана и проблемам климата. Две лекции были прочитаны учёными из Абхазского госуниверситета, Институт экологии АНА, Сухум, Абхазия. В работе Школы-семинара принимали участие молодые учёные из Москвы, Севастополя, Майкопа, Твери и Сухума. Молодые учёные представили 13 устных докладов. Для молодых учёных было организовано ознакомление с достопримечательностями Тарусы. Детальная информация о прошедшей Школе-семинаре, в том числе тезисы и презентации докладов представлены на сайте http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2019.html.

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

В 2019 году было выпущено 6 номеров очередного Шестнадцатого тома научного журнала «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Всего планируется опубликовать около 165 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»

Дни открытых дверей

Работа со школьниками в ИКИ РАН ведется 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» (<http://docs.cntd.ru/document/456037056>) были проведены семинары для учителей в том числе по работе с данными ДЗЗ.

В 2019 г. в ИКИ РАН были проведены уже ставшие традиционными «Дни открытых дверей» для школьников (13 апреля, посвященный Дню космонавтики и 5 октября в рамках «Дня космической науки»). Количество посетителей каждого было более 200 человек.

Конференции

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

В 2019 г. были проведены следующие мероприятия:

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

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

В рамках Пятнадцатой 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 109 работ молодых учёных.

По результатам конкурса было присуждено 2 первых, 3 вторых и 3 третьих и 2 поощрительных премии. Следует отметить, что в работе Школы-конференции впервые принимали участие школьники, представившие доклады, удостоенные поощрительными премиями. Ниже представлен список победителей работ молодых ученых. В том числе:

Первая премия

Андреев А.И., Кучма М.О., Перерва Н.И., Холодов Е.И., Блощинский В.Д. (Дальневосточный центр ФГБУ «НИЦ «Планета», Хабаровск) за цикл работ по разработке и применению нейронно-сетевого метода детектирования и прогнозирования облачности и снежного покрова по спутниковым данным.

Вторые премии

Пиваев П.Д. (Лаборатория спутниковой океанографии, Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург) за доклад «О проявлении донной топографии в мелководных районах и ее реконструкции по данным спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой».

Тимченко А.В. (Калининградский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, Калининград) за доклад «Отклик ионосферы на изменение волновой активности в атмосфере во время сильных внезапных стратосферных потеплений».

Третьи премии

Михайлюкова П.Г. (МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва) за доклад «Районирование Толбачинского Дола на основе значений когерентности».

Нарижная А.И. (Институт физики атмосферы имени А.М. Обухова РАН, Москва) за доклад «Облачно-радиационные характеристики атмосферы во время холодных вторжений над Баренцевым морем по данным спутникового зондирования».

Шомина О.В. (Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород) за доклад «Кинематика сликовой полосы в поле морского течения и ветра: натурный эксперимент и моделирование».

Поощрительные грамоты

Лисаченко Е.С., Терехин М.Е. (Гимназия им. Н.В. Пушкова, Троицк; ООО «Рисксат», Москва) за доклад «Обнаружение и исследование отмелей и малых островов в южной части моря Лаптевых по спутниковым данным»

Григорьев Н.С. (Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург) «Канализационные сбросы в севастопольской прибрежной зоне Чёрного моря и их наблюдение из космоса».

В рамках конкурса научных работ ИКИ РАН, проведённого в 2019 году, в номинации «Лучшая работа, выполненная молодыми учёными» было присуждено 12 премий, одну из которых за цикл работ «Особенности выявления параметров речного плюма контактными и дистанционными методами» по направлению дистанционное зондирование Земли получила Назирова К.Р.

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 им. М.В. Ломоносова (МГУ) на Факультете космических исследований (<http://cosmos.msu.ru/>). В сентябре 2017 г. на факультете началось обучение по программам магистратуры, в 2018 г. прошёл первый приём на специалитет, в 2019 третий набор в магистратуру. Одна из программ: Методы и технологии дистанционного зондирования Земли (научный руководитель: зам. директора ИКИ РАН, доктор технических наук Лупян Евгений Аркадьевич). В рамках программы в магистратуре обучается более 20 магистрантов.

Задачи программы «Методы и технологии дистанционного зондирования Земли» формировались с учетом того, что перед факультетом стоят как задачи подготовки специалистов для проведения научных исследований, так и решения различных

практических задач, в том числе создание новых методов, технологий и систем, обеспечивающих возможность получения и использования оперативной объективной информации о различных процессах и 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 2019 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 2019 г. состоялся первый выпуск магистрантов кафедры Методы и технологии дистанционного зондирования Земли факультета космических исследований МГУ имени М.В. Ломоносова. 8 сотрудников ИКИ РАН были руководителями магистерских диссертаций. Все они были защищены на «отлично».

В 2017–2019 гг. в рамках учебного плана в Университетской гимназии (школе-интернате) МГУ имени М.В. Ломоносова сотрудники ИКИ РН приняли участие в реализации Школьного Междисциплинарного проект «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 2019 г. И ГОТОВЫЕ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

8.1 Создание и внедрение «Единого геоинформационного хранилища пространственных данных» ОАО «РЖД»

Для создания информационных систем дистанционного мониторинга в ИКИ РАН были разработаны и успешно внедряются и развиваются технологии UNISAT и GEOSMIS, обеспечивающие ведение распределённых, сверхбольших архивов спутниковых данных и построение веб-интерфейсов для онлайн-анализа и обработки этих данных соответственно.

В 2018–2019 годах АО «НИИАС» совместно с ИКИ РАН и АО «Транспутьстрой» по заказу ОАО «Российские железные дороги» создал и ввел в промышленную эксплуатацию платформу «Единое геоинформационное хранилище пространственных данных» (далее, ЕГХ ПД) для обеспечения автоматизированной работы с данными ДЗЗ, основанную на этих технологиях (рисунок 8.1.1).

Платформа реализует инфраструктурные решения по информационному обеспечению служб ОАО «РЖД» инструментами для работы с данными спутникового дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), включая метеорологические данные, данные о пожарах, информацию о типах поверхности Земли, и результатами их обработки путем организации автоматизированного получения, хранения, обработки данных и публикации полученных результатов. В платформе реализованы специализированные инструменты по анализу данных, включая работу с моделями, а также средства, обеспечивающие интеграцию данных смежных систем.

Для обеспечения ЕГХ ПД оперативными и архивными спутниковыми данными в ИКИ РАН создана подсистема, предоставляющая данные на основе сервисной модели.

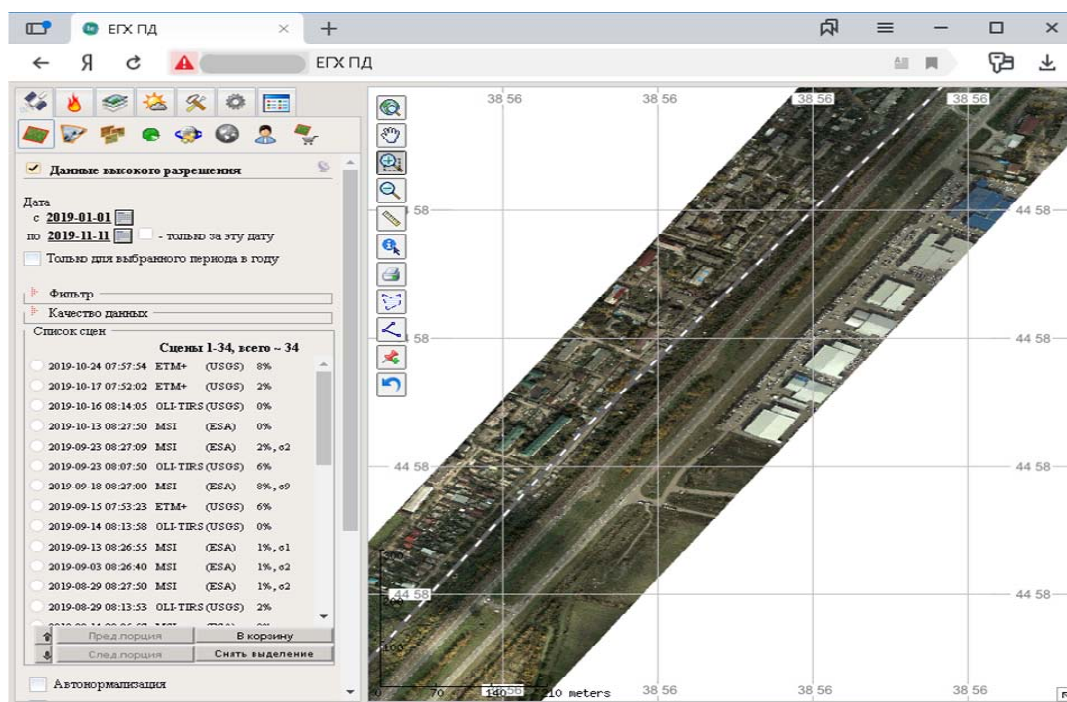


Рисунок 8.1.1 — Интерфейс ЕГХ ПД для работы с картографической информацией по спутниковым данным

8.2 Развитие методов ДЗЗ аппаратурой с пространственным спектральным расщеплением светового пучка на основе мультисенсорных данных космического комплекса «Метеор-3М»

Схема съемки с разнесенными в пространстве проекциями чувствительных элементов, используемая в съемочной аппаратуре среднего пространственного разрешения КМСС на КА «Метеор-М» №№ 01 и 02 из состава космического комплекса «Метеор-3М», обуславливает ряд технических сложностей с синтезе многозональных изображений, который можно произвести лишь при условии достаточно точного знания параметров орбитального и углового движения КА на интервале съёмки, а также требует присутствия оператора в технологическом цикле обработки целевой информации.

Для устранения данного недостатка была разработана принципиально новая схема построения хода лучей, позволяющая одновременно фиксировать изображение одной и той же области земной поверхности на трёх физически разнесенных линейных ПЗС-приёмниках спектральных каналов.

Полученные результаты натурных испытаний аппаратуры на борту космического аппарата «Метеор-М» №2-2 показали, что заложенные в расчетах и конструкции прибора методы пространственного спектрального расщепления светового пучка обеспечивают точность синтеза многозональных изображений с среднеквадратической ошибкой несовмещения менее половины размера проекции чувствительного элемента в пределах полосы захвата на земной поверхности более 1000 км в автоматическом режиме без участия оператора.

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
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	2018–2019
16-29-09615 Разработка методов и информационных инструментов для получения, интерпретации и эффективного использования в специальных криминалистических экспертизах данных мультиспектрального дистанционного зондирования ареалов растений	Саворский В.П. канд. физ.-мат. наук	2016–2019
17-05-41152 РГО_a Создание геоинформационные технологий для мониторинга природно-хозяйственных систем Приморского края на основе комплексного использования современных спутниковых систем дистанционного зондирования	Алексанин А.И. д-р техн. наук	2017–2019

19-416-910006 p_a Научное обоснование использования данных дистанционного зондирования для оценки вероятности наступления засушливых условий	Дунаева Е.А. канд. техн. наук	2019
19-05-20012 Проект организации Семнадцатой Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса,	Лупян Е.А. д-р техн. наук	2019 - 2019
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
17-05-00715 Гидродинамические процессы, связанные с распространением речных и лагунных вод в море, и методы их дистанционной диагностики	Лаврова О.Ю. канд. физ.-мат. наук	2017–2019
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-a 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-a 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 измерении профилей вод ного пара и других параметров атмосферы с орта космического аппарата	Шарков Е.А., д-р физ.-мат. наук	2018–2020

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 – Чёрное 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 изменённых торфяных болот на основе спутниковых и наземных данных	Сирин А.А. д-р биол. наук	2019 – 2022
16-17-00042 Оценка опасности взрывчатых извержений вулканов на основе комплексного анализа данных дистанционного зондирования и наземных инструментальных наблюдений	Гордеев Е.И. академик	2016-2019
18-12-00441 Исследование физических механизмов взаимодействия атмосферы и ионосферы	Пулинец С.А. д-р наук	2018-2020
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 плёнок на поверхности океана и внутренних водоёмов	Ермаков С.А.	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 № 1.2.50 «Развитие методов и средств оперативной океанологии для исследований изменчивости полей Чёрного моря»	Лаврова О.Ю. канд. физ.-мат. наук	2018–2019
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

Программа президиума РАН № 12 «Вопросы происхождения и эволюции Вселенной с применением методов наземных наблюдений и космических исследований», Подпрограмма I, Проект I.13, Тема: Электричество пограничного слоя атмосферы. Развитие современных климатических моделей высокого разрешения с учётом эффектов атмосферного электричества	Артеха С.Н. канд. наук	2019
--	---------------------------	------

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-SBHE-JP: GIS and remote sensing for sustainable forestry and ecology/SUFOGIS (ГИС и дистанционное зондирование для устойчивого лесного хозяйства и экологии)	Лаопоулос Т.	2018–2020

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение отметим, что по результатам работ по направлению темы «Мониторинг» сотрудниками ИКИ РАН опубликовано — 194 работы, из них опубликовано:

- в зарубежных изданиях — 22
- главы в книгах — 1
- книг — 2
- статьи в отечественных научных рецензируемых журналах — 45
- статьи в сборниках материалов конференций — 35
- материалы конференций — 44
- тезисы, доклады — 41
- патенты — 4

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 различных прикладных систем дистанционного мониторинга, в том числе:

- Информационной системы дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства ИСДМ Рослесхоз (<http://www.pushkino.aviales.ru>), предназначенной для сбора информации о пожарах по всей территории России, о состоянии окружающей среды, подготовки информационных продуктов для

анализа пожарной обстановки и последствий пожаров и оперативного распространения накопленной информации.

- Отраслевой информационной системы мониторинга Федерального агентства рыбного хозяйства (ОСМ Росрыболовства) (<http://osm.smislab.ru/>), ориентированной на получение информации о деятельности промысловых судов.
- Информационной системы комплексного дистанционного мониторинга лесов Приморского края («Вега-Приморье») (<http://primorsky.geosmis.ru/>).
- Информационной системы дистанционного мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил (VolSatView), использующейся как для изучения вулканов, так и для обеспечения 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/> и др.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Опубликовано — 194 работ, из них:

- в зарубежных изданиях — 22
- главы в книгах — 1
- книг — 2
- статьи в отечественных научных рецензируемых журналах — 45
- статьи в сборниках материалов конференций — 35
- материалы конференций — 44
- тезисы, доклады — 41
- патенты — 4
- публикаций по грантам РНФ — 34
- в соавторстве с зарубежными авторами — 9
- статьи в WOS и Scopus — 55
- статьи в WOS и Scopus (Q1, Q2) — 7
- статьи в WOS и Scopus (Q3, Q4) — 41 (из них в печати — 5)
- статьи ниже Q4 с DOI — 18 (из них в печати — 4)
- статьи ниже Q4 без DOI — 4

Публикации в зарубежных изданиях

1. Waldner F., Schucknecht A., Lesiv M., Gallego J., See L., Pérez-Hoyos A., d'Andrimont R., de Maet T., Laso Bayas J.C., Fritz S., Leo O., Kerdiles H., Díez M., Van Tricht K., Gilliams S., Shelestov A., Lavreniuk M., Simões M., Ferraz R., Bellón B., Bégué A., Hazeu G., Stonacek V., Kolomaznik J., Misurec J., Veron S.R., De Abelleira D., Plotnikov D.E., Mingyong L., Singha M., Patil P., Zhang Y., Defourny P. Conflation of expert and crowd reference data to validate global binary thematic maps // Remote Sensing of Environment. 2019. V. 221. P. 235–246. DOI: 10.1016/j.rse.2018.10.039. (**Web of science-Q1, Scopus**)
2. Waldner F., Bellemans N., Hochman Z., Newby T., De Abelleira D., Veron S.R., Bartalev S.A., Lavreniuk M., Kussul, N.N., Le Maire G., Simões M., Skakun S., Defourny P. Roadside collection of training data for cropland mapping is viable when environmental and management gradients are surveyed // Intern. J. Applied Earth Observation and Geoinformation. 2019. V. 80. P. 82–93. DOI: 10.1016/j.jag.2019.01.002. (**Web of science-Q1, Scopus**)
3. Lutovinov A.A., Loupian E.A., Pogosyan M.A., Shemyakov A.O. Providing Information Connectivity over Russian Territory Using Remote Sensing Systems of the Earth // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2019. V. 89, Iss. 2. P. 190–195. DOI: 10.1134/S1019331619020114. (**Web of science-Q1, Scopus**) (**«Мониторинг»**)
4. Alekseeva T., Tikhonov V., Frolov S., Repina I., Raev M., Sokolova J., Sharkov E., Afanasieva E., Serovetnikov S. Comparison of Arctic Sea Ice Concentrations from the NASA Team, ASI, and VASIA2 Algorithms with Summer and Winter Ship Data // Remote Sensing. 2019. V. 11. No. 21. 2481. 31 p. <https://doi.org/10.3390/rs11212481> (**Web of Sciences-Q1, Scopus**)
5. Alekseeva T.A., Tikhonov V.V., Frolov S.V., Raev M.D., Repina I.A., Sokolova J.V., Afanasieva E.V., Sharkov E.A., Serovetnikov S.S. Comparing the Satellite Microwave and Visual Shipborne Sea Ice Concentration // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2019. V. 55. No. 9. P. 1292–1301. DOI: 10.1134/S0001433819090032 (**Web of Sciences-Q3, Scopus**) (**«Мониторинг-Климат», РФФИ**)

6. *Boyarskii D.A., Romanov A.N., Khvostov I.V., Tikhonov V.V., Sharkov E.A.* On Evaluation of Depth of Soil Freezing Based on SMOS Satellite Data // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2019. V. 55. No. 9. P. 996–1004. DOI: 10.1134/S0001433819090147 **(Web of Sciences-Q3, Scopus) («Мониторинг-Климат», РФФИ)**
7. *Ermakov D.M., Raev M.D., Chernushich A.P., Sharkov E.A.* Algorithm for Construction of Global Ocean–Atmosphere Radiothermal Fields with High Spatiotemporal Sampling Based on Satellite Microwave Measurements // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2019. V. 55. No. 9. P. 1041–1052. DOI: 10.1134/S0001433819090159 **(Web of Science-Q3, Scopus) («Мониторинг-Климат»)**
8. *Ermakov D.M., Sharkov E.A., Chernushich A.P.* Evaluation of the Tropospheric Latent Heat Advective Fluxes over the Ocean by the Animated Analysis of Satellite Radiothermal Remote Data // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2019. V. 55. No. 9. P. 1125–1132. DOI: 10.1134/S0001433819090160 **(Web of Science-Q3, Scopus) («Мониторинг-Климат»)**
9. *Ermakov D.M., Sharkov E.A., Chernushich A.P.* Role of Tropospheric Latent Heat Advective Fluxes in the Intensification of Tropical Cyclones // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2019. V. 55. No. 9. P. 1254–1265. DOI: 10.1134/S0001433819090172 **(Web of Science-Q3, Scopus) («Мониторинг-Климат»)**
10. *Krayushkin E.V., Lavrova O.Yu., Nazirova K.R.* Distinctive features of the Vistula lagoon outflow by remote sensing and oceanographic experiments data // *Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions*. 2019. V. 11150. 111500W. DOI: 10.1117/12.2533024 **(Web of Sciences, Scopus) (РФФИ)**
11. *Lavrova O.Yu., Nazirova K.R., Krayushkin E.V., Storchkov A.Ya.* Concurrent field experiments and satellite surveys for assessing environmental risk in the coastal zone of Southeast Baltic // *Ecologica Montenegrina*. 2019. V. 25. P. 44–54. URL: www.biotaxa.org/em **(Scopus-Q3, РИНЦ) («Мониторинг-Океан», РФФИ)**
12. *Mityagina M.I.* Assessment of surface oil pollution risks of the southeastern Black Sea based on long-term satellite data // *Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions*. 2019. V. 11150. 111501C. DOI: 10.1117/12.2532867 **(Web of Sciences, Scopus) («Мониторинг-Океан»)**
13. *Nazirova K., Lavrova O., Krayushkin E.* Features of monitoring near the mouth zones by contact and contactless methods // *Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions*. 2019. V. 11150. 111500H. DOI: 10.1117/12.2533165 **(Web of Sciences-Q3, Scopus) (РФФИ)**.
14. *Sazonov D.S., Sterlyadkin V.V., Kuzmin A.V.* Testing the Algorithm for Determining the Near-Water Wind Direction Field Using Satellite Radiopolarimetric Measurements // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2019. V. 55. No. 9. P. 949–955. DOI:10.1134/S0001433819090457 **(Web of Science-Q3, Scopus) («Мониторинг-Океан»)**
15. *Sharkov E.A., Kuzmin A.V., Vedenkin N.N., Jeong S., Ermakov D.M., Kvitka V.E., Kozlova T.O., Komarova N.Yu., Minaev P.Yu., Park I.H., Pashinov E.V., Pozanenko A.S., Prasolov V.O., Sadvoskii I.N., Sazonov D.S., Sterlyadkin V.V., Khapin Yu.B., Hong G., Chernenko A.M.* Space experiment “Convergence”: scientific objectives, on-board equipment, methods of inverse problems // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2019. V. 55. No. 9. P. 1437–1456. DOI: 10.1134/S0001433819090469 **(«Мониторинг-Климат-Океан»)**
16. *Tikhonov V.V., Raev M.D., Khvostov I.V., Boyarskii D.A., Romanov A.N., Sharkov E.A., Komarova N.Yu.* Analysis of the Seasonal Dependence of the Brightness Temperature of the Ice Sheet of Antarctica by Microwave Satellite Data // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2019. V. 55. No. 9. P. 1302–1313. DOI: 10.1134/S0001433819090512 **(Web of Sciences Q3, Scopus) («Мониторинг-Климат», РФФИ)**

17. Titov V., Bakhanov V., Demakova A., Sergievskaya I., Kuzmin A., Sadovsky I., Sazonov D. Investigation of short-scale sea wave spectra with optical and radiometric methods // Proc. SPIE. Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2019, 111501P. 2019. <https://doi.org/10.1117/12.2533316> (**Web of Sciences, Scopus**) (**«Мониторинг-Океан», РФФИ**)
18. Kozlovsky A., Shalimov S., Oyama S., Hosokawa K., Lester M., Ogawa Y., Hall C. Ground Echoes Observed by the Meteor Radar and High-Speed Auroral Observations in the Substorm Growth Phase // J. Geophysical Research Space Physics, 2019. <https://doi.org/10.1029/2019ja026829> (**Web of Sciences-Q1, Scopus**) (**«Мониторинг-Атмосфера»**)
19. Liu J.H., Zhai S.C., Kudashev E., Hong F.W., Yan K. Unsteadiness control of laminar junction flows on pressure fluctuations // Applied Mathematics and Mechanics / Engl. ed. 2019. V. 40(3), P. 373–380. <https://doi.org/10.1007/s10483-019-2447-6> (**Scopus-Q2**) (**«Мониторинг-Атмосфера»**)
20. Onishchenko O., Fedun V., Horton W., Pokhotelov O., Verth G. Dust devils: structural features, dynamics and climate impact, Climate, 2019, 7(1), 12. <https://doi.org/10.3390/cli7010012> (**Web of Sciences, Scopus-Q3**) (**«Мониторинг-Атмосфера»**)
21. Levina G.V. A realization of the turbulent vortex dynamo in the atmosphere: based on the 21st century knowledge // Journal of Physics: Conference Series. 2019. V. 1336, No. 1, 012007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1336/1/012007> (**Scopus Q3**)
22. Martin I.M., Gusev A.A., da Silva A.A. Monitoring of gamma radiation in São José dos Campos and correlation of rain intensity in the local // American J. Engineering Research. 2019. V. 8. No. 6. P. 55–58. (**«Мониторинг-Атмосфера»**)

Книги

23. Романов А.А., Романов А.А. Основы космических информационных систем: учеб. пособие (научная монография). М.: ИКИ РАН; МФТИ, 2019. 292 с. (**«Мониторинг»**)
24. Голубев А.Ю., Кудашев Е.Б., Яблоник Л.Р. Турбулентные пульсации давления в акустике и аэрогидродинамике. М.: Физматлит, 2019. 424 с. ISBN 978-5-9221-1827-9. (**«Мониторинг-Атмосфера»**)

Главы в книгах

25. Kostianoy A.G., Ginzburg A.I. Lavrova O.Yu., Lebedev S.A., Mityagina M.I., Sheremet N.A., Soloviev D.M. Comprehensive Satellite Monitoring of Caspian Sea Conditions // Remote Sensing of the Asian Seas / eds. Barale V., Gade M. Springer, 2019. P. 505–521. DOI: 10.1007/978-3-319-94067-0_28 (https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-94067-0_28) (**Web of Sciences, Scopus**).

Публикации в отечественных научных рецензируемых изданиях

26. Кашицкий А.В., Ховратович Т.С., Балашов И.В. Организация обработки данных ДЗЗ при решении задачи детектирования изменений лесного покрова на больших территориях // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. (в печати). (**Scopus-Q3**) (**Минобрнауки**)

27. Саворский В.П., Лупян Е.А., Горный В.И., Ермаков Д.М., Панова О.Ю., Константинова А.М. Методы и инструменты анализа данных ДЗЗ для выявления изменений растительного покрова, вызванных техногенными отходами и отвалами // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. (в печати). **(Scopus-Q3) (РФФИ)**
28. Лаврова О.Е., Лупян Е.А., Барталев С.А. Итоги Семнадцатой всероссийской открытой конференции с международным участием «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. (в печати). **(Scopus-Q3) («Миниторинг», РНФ, РФФИ)**
29. Крамарева Л.С., Лупян Е.А., Амельченко Ю.А., Бурцев М.А., Крашенинникова Ю.С., Суханова В.В., Шамилова Ю.А., Бородицкая А.В. Наблюдение за ходом взрывных работ и устройством прорана в зоне схода скальных пород на реке Бурей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 1. С. 259–265. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-259-265. **(Scopus-Q3) («Мониторинг»)**
30. Лупян Е.А., Буланов К.А., Денисов П.В., Крашенинникова Ю.С., Плотников Д.Е., Толпин В.А., Трошко К.А., Уваров И.А. Анализ развития озимых культур в южных регионах европейской части России в феврале 2019 года на основе данных дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 1. С. 266–271. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-266-271. **(Scopus-Q3) («Мониторинг»)**
31. Крамарева Л.С., Лупян Е.А., Амельченко Ю.А., Беляев А.И., Бурцев М.А., Суханова В.В., Шамилова Ю.А., Есаков А.М. Наблюдение за динамикой прорана, устроенного в зоне схода скальных пород на реке Бурей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 2. С. 278–283. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-278-283. **(Scopus-Q3) («Мониторинг»)**
32. Лутовинов А.А., Лупян Е.А., Погосян М.А., Шемяков А.О. Обеспечение информационной связанности территории России с использованием систем дистанционного зондирования Земли // Вестн. Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 5. С. 502–508. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895502-508>. **(РИНЦ) («Мониторинг»)**
33. Якушев В.П., Дубенок Н.Н., Лупян Е.А. Опыт применения и перспективы развития технологий дистанционного зондирования Земли для сельского хозяйства // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 11–23. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-11-23. **(Scopus-Q3)**
34. Буланов К.А., Денисов П.В., Лупян Е.А., Мартыанов А.С., Середа И.И., Трошко К.А., Толпин В.А., Барталев С.А., Хвостиков С.А. Блок работы с данными дистанционного зондирования Земли Единой федеральной информационной системы о землях сельскохозяйственного назначения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 171–182. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-171-182. **(Scopus-Q3)**
35. Толпин В.А., Барталев С.А., Ёлкина Е.С., Кашицкий А.В., Константинова А.М., Лупян Е.А., Марченков В.В., Плотников Д.Е., Патил В.К., Сунил Д.К. Информационная система VEGA-GEOGLAM — инструмент разработки методов и подходов использования данных спутникового дистанционного зондирования в интересах решения задач глобального сельскохозяйственного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 183–197. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-183-197. **(Scopus-Q3) (РФФИ)**
36. Бурцев М.А., Успенский С.А., Крамарева Л.С., Антонов В.Н., Калашников А.В., Балашов И.В., Кашицкий А.В., Лупян Е.А., Матвеев А.М., Прошин А.А.

- Современные возможности и перспективы развития Объединённой системы распределённой работы с данными НИЦ «Планета» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 198–212. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-198-212. **(Scopus-Q3)**
37. Гирина О.А., Лупян Е.А., Уваров И.А., Крамарева Л.С. Извержение вулкана Райкоке 21 июня 2019 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 303–307. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-303-307. **(Scopus-Q3)**
 38. Попович В.В., Ведешин Л.А. Понятие «Пространство» в географических информационных системах // Системы высокой доступности. 2019. Т. 15. № 2. С. 47–56. DOI: 10.18127/j20729472-201902-05. **(РИНЦ)**
 39. Ховратович Т.С., Барталев С.А., Кашицкий А.В. Метод детектирования изменений лесов на основе подпиксельной оценки проективного покрытия древесного полога по разновременным спутниковым изображениям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 4. С. 102–110. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-102-110. **(Scopus-Q3) («Мониторинг»)**
 40. Котельников Р.В., Лупян Е.А., Барталев С.А., Еришов Д.В. Космический мониторинг лесных пожаров: история создания и развития ИСДМ-Рослесхоз // Лесоведение. 2019. № 5. С. 399–409. DOI: 10.1134/S0024114819050048. **(Scopus-Q3) (Минобрнауки Охотн.)**
 41. Замолодчиков Д.Г., Суховольский В.Г., Барталев С.А., Лукина Н.В. Вклад академика А.С. Исаева в развитие лесной науки // Лесоведение. 2019. № 5. С. 323–340. DOI: 10.1134/S0024114819050127. **(Scopus). Q3**
 42. Саворский В.П., Кашицкий А.В., Панова О.Ю. Информационные инструменты распределённого анализа данных спутникового мониторинга растительных ареалов при проведении специальных экспертиз // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 5. С. 99–110. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-99-110. **(Scopus-Q3) (РФФИ)**
 43. Ёлкина Е.С., Егоров В.А., Плотников Д.Е., Самофал Е.В., Барталев С.А., Патил В.К., Сунил Д.К., Чаван В.К. Развитие методов спутникового мониторинга состояния посевов сахарного тростника в Южной Индии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 5. С. 159–173. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-159-173. **(Scopus- Q3) (РФФИ)**
 44. Лупян Е.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Бурцев М.А., Дмитриев В.В., Сенько К.С., Крашенинникова Ю.С. Лесные пожары на территории России: особенности пожароопасного сезона 2019 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 5. С. 356–363. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-356-363. **(Scopus-Q3) («Мониторинг», Минобрнауки Охотн.)**
 45. Ведешин Л.А. Первый по программе «Интеркосмос» (к 50летию запуска международного спутника «Интеркосмос-1») // Земля и Вселенная. 2019. № 6. С. 64–75.
 46. Аванесов Г.А., Бессонов Р.В., Куркина А.Н., Никитин А.В., Фориш А.А. Вопросы обеспечения географической привязки снимков дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 5. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-59-64, **(Scopus-Q3) («Мониторинг-Эффект»)**
 47. Жуков Б.С., Гришанцева Л.А., Кондратьева Т.В., Никитин А.В., Пермитина Л.И., Полянский И.В. Полетная геометрическая калибровка Комплекса многозональной спутниковой съемки КМСС-2 на КА «Метеор-М» № 2-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. в печати **(Scopus-Q3) («Мониторинг-Эффект»)**

48. Полянский И.В., Жуков Б.С., Кондратьева Т.В., Прохорова С.А., Сметанин П.С. Комплекс многозональной спутниковой съемки среднего разрешения для гидрометеорологических космических аппаратов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. (**Scopus-Q3**)
49. Аванесов Г.А. Звездные датчики ориентации. Еще одна профессия современного телевидения // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2019. Т. 1. № S3. С. 5-14. (**РИНЦ**) (**«Мониторинг-Эффект»**)
50. Кобелева А.А., Воронков С.В., Прохорова С.А. Влияние радиации на ключевые параметры матричных фотоприемных устройств // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 1. (в печати). (**Scopus-Q3**) (**«Мониторинг-Эффект»**)
51. Krayushkin E., Lavrova O., Storchkov A. Application of GPS/GSM Lagrangian mini-drifters for coastal ocean dynamics analysis // Russian J. Earth Science. 2019. V. 19. ES1001. DOI: 10.2205/2018ES000642 (**Web of Sciences, Scopus**) (**«Мониторинг-Океан»**)
52. Zhurbas V., Väli G., Kostianoy A., Lavrova O. Hindcast of the mesoscale eddy field in the Southeastern Baltic Sea: Model output vs satellite imagery // Russian J. Earth Science. 2019. V. 19. ES4006. DOI: 10.2205/2019ES000672 (**Web of Sciences, Scopus**) (**«Мониторинг-Океан»**).
53. Арумов Г.П., Бухарин А.В. Ненормализованные моменты в задаче идентификации рассеивающих частиц по сечениям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 19. № 1. С. 72–79. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-72-79 (**Scopus-Q3**) (**«Мониторинг-Атмосфера»**)
54. Боярский Д.А., Романов А.Н., Хвостов И.В., Тихонов В.В., Шарков Е.А. Оценка глубины промерзания почвенного покрова по данным спутника SMOS // Исслед. Земли из космоса. 2019. № 2. С. 3–13. <https://doi.org/10.31857/S0205-9614201923-13> (**РИНЦ**) (**РФФИ**).
55. Голенко М.Н., Лаврова О.Ю. Исследование динамики струйных течений вблизи Самбийского полуострова (Юго-Восточная Балтика) на основе численного моделирования и анализа спутниковых изображений видимого диапазона // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 4. С. 175–191. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-175-191 (**Scopus-Q3, РИНЦ**) (**РФФИ**)
56. Кузьмин А.В., Садовский И.Н., Горшков А.А., Ермаков Д.М. Приборная платформа для надводных измерений морской поверхности и атмосферы // Исслед. Земли из космоса. 2020. № 1. (в печати) (**«Мониторинг-Океан»**)
57. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г. Спутники на страже чистоты морей России // Нефтегазовая вертикаль. 2019. № 6(450). С. 57–66. URL: <http://www.ngv.ru/magazines/article/sputniki-na-strazhe-chistoty-morey-rossii/>.
58. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Уваров И.А., Лупян Е.А. Текущие возможности и опыт использования информационной системы See the Sea для изучения и мониторинга явлений и процессов на морской поверхности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 266–287. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-266-287 (**Scopus-Q3, РИНЦ**). (**«Мониторинг-Океан-Технологии»**)
59. Лаврова О.Ю., Соловьев Д.М., Строчков А.Я., Назирова К.Р., Краюшкин Е.В., Жук Е.В. Использование мини-дрифтеров для проведения подспутниковых измерений параметров прибрежных течений // Исслед. Земли из космоса. 2019. № 5. С. 36–49. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0205-96142019536-49> (**Scopus, РИНЦ**). (**РФФИ, «Мониторинг-Океан»**)
60. Митягина М.И., Лаврова О.Ю. Аномальное зимнее цветение кокколитофорид в восточной части Чёрного моря, выявленное по спутниковым данным // Современные

- проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 1. С. 248–253. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-248-253 (**Scopus-Q3**, **РИНЦ**) (**«Мониторинг-Океан»**).
61. Назирова К.Р., Лаврова О.Ю., Краюшкин Е.В., Соловьев Д.М., Жук Е.В., Алферьева Я.О. Особенности выявления параметров речного плюма контактными и дистанционными методами // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 2. С. 227–243. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-227-243 (**Scopus Q3**, **РИНЦ**) (**РФФИ**, **«Мониторинг-Океан»**).
 62. Пашинов Е.В. Космический эксперимент «Конвергенция»: восстановление профиля водяного пара атмосферы с помощью искусственных нейронных сетей // Исслед. Земли из космоса. 2019. № 6. С. 28–40. (**Scopus**) (**«Мониторинг-Климат-Атмосфера»**)
 63. Тихонов В.В., Раев М.Д., Хвостов И.В., Боярский Д.А., Романов А.Н., Шарков Е.А., Комарова Н.Ю. Анализ сезонной зависимости яркостной температуры ледового щита Антарктиды по микроволновым спутниковым данным // Исслед. Земли из космоса. 2019. № 1. С. 14–28. <https://doi.org/10.31857/S0205-96142019114-28> (**РИНЦ**) (**РФФИ**).
 64. Ижовкина Н.И., Артеха С.Н., Ерохин Н.С., Михайловская Л.А. Мощные атмосферные вихри в низких и высоких широтах // Инженерная физика. 2019. № 2. С. 46–54. <https://doi.org/10.25791/infizik.02.2019.482> (**РИНЦ**) (**«Мониторинг-Атмосфера»**)
 65. Ижовкина Н.И., Артеха С.Н., Ерохин Н.С., Михайловская Л.А. Зимние циклоны в геомагнитной полярной шапке // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 4. С. 273–281. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-4-273-281> (**Scopus-Q3**) (**«Мониторинг-Атмосфера»**)
 66. Онищенко О.Г., Похотелов О.А., Астафьева Н.М., Хортон В., Федун В.Н. Структура и динамика концентрированных мезомасштабных вихрей в атмосферах планет // Успехи физ. наук. 2019. (в печати). <https://doi.org/10.3367/UFNr.2019.07.038611> (**Web of Sciences**, **Scopus-Q2**) (**«Мониторинг-Атмосфера»**)
 67. Левина Г.В. Гипотетическая вихредвижущая сила или о реализации турбулентного вихревого динамо в тропической атмосфере // Океанологические исследования. 2019. Т. 47, № 1. С. 80–82. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2019.47\(1\).23](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2019.47(1).23) (**РИНЦ**) (**«Мониторинг-Атмосфера»**)
 68. Арумов, Г.П., Бухарин А.В. Ненормализованные моменты в задаче идентификации рассеивающих частиц по сечениям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 19. № 1. С. 72–79. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-1-72-79> (**Scopus-Q3**) (**«Мониторинг-Атмосфера»**)
 69. Пашинов Е.В. Космический эксперимент «Конвергенция»: восстановление профиля водяного пара атмосферы с помощью искусственных нейронных сетей // Исслед. Земли из космоса. (принято в печать). (**Scopus**) (**«Мониторинг-Атмосфера»**)
 70. Шалимов С., Козловский А. О режимах диффузионного расплывания ионизованных метеорных следов // Физика плазмы. 2019. Т. 45. № 9. С. 922–926. <https://doi.org/10.1134/S0367292119090063> (**РИНЦ**) (**«Мониторинг-Атмосфера»**)

Статьи в сборниках материалов конференций

71. Белоконь З.С., Василец П.М., Дегай А.Ю., Пырков В.Н. Возможность повышения точности автоматической классификации треков судов в Отраслевой системе

- мониторинга Росрыболовства с помощью методики выявления периодов сближения судов // 16-я Всероссийская научно-техническая конференция «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2019). Т. I. М.: ИД Академии Жуковского, 2019. С. 251–254. (**«Мониторинг»**)
72. *Ершов Д.В., Лукина Н.В., Барталев С.А., Лупян Е.А.* Спутниковый мониторинг биоразнообразия и динамики лесных экосистем Северной Евразии. (Памяти академика Исаева А.С. посвящается) // Доклады 7-й Всероссийской конференции (с международным участием) «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии», посвященной памяти выдающегося ученого-лесоведа академика РАН А.С. Исаева. Москва, 22–24 апр. 2019. М.: ЦЭПЛ РАН, 2019. С. 7–9.
 73. *Котельников Р.В., Лупян Е.А.* Перспективы развития ИСДМ-Рослесхоз, как системы поддержки принятия решений в области охраны лесов от пожаров // Доклады 7-й Всероссийской конференции (с международным участием) «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии», посвященной памяти выдающегося ученого-лесоведа академика РАН А.С. Исаева. Москва, 22–24 апр. 2019. М.: ЦЭПЛ РАН, 2019. С. 11–13.
 74. *Жарко В.О., Барталев С.А.* Совместный анализ многолетних временных серий спутниковых карт лесного покрова по данным MODIS и таблиц хода роста для оценки продуктивности лесов // Доклады 7-й Всероссийской конференции (с международным участием) «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии», посвященной памяти выдающегося ученого-лесоведа академика РАН А.С. Исаева. Москва, 22–24 апр. 2019. М.: ЦЭПЛ РАН, 2019. С. 48–50.
 75. *Тутубалина О.В., Зимин М.В., Голубева Е.И., Михайлюкова П.Г., Терская А.И., Бебчук Т.С., Барталев С.А., Шабанов Н.В., Жарко В.О., Медведев А.А., Тельнова Н.О., Rees W.G., Marshall G., Turton R.H.* Методика дистанционного мониторинга динамики северных лесов России в контексте изменения климата // Доклады 7-й Всероссийской конференции (с международным участием) «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии», посвященной памяти выдающегося ученого-лесоведа академика РАН А.С. Исаева. Москва, 22–24 апр. 2019. М.: ЦЭПЛ РАН, 2019. (**Минобрнауки. 0099**)
 76. *Хвостиков С.А., Барталев С.А.* Методы прогнозного моделирования развития природных пожаров с использованием данных спутникового мониторинга // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 42–47. DOI: 10.21046/rorse2018.42. (**Минобрнауки Охотн.**)
 77. *Хвостиков С.А., Барталев С.А.* Построение эталонов сезонной динамики NDVI для основных сельскохозяйственных культур // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 55–59. DOI: 10.21046/rorse2018.55. (**«Мониторинг»**)
 78. *Колбудаев П.А., Плотников Д.Е., Барталев С.А.* Метод выявления облачности по данным прибора МСУ-100М («Метеор-М» № 2) на основе пространственного анализа монохромных изображений и границ объектов земной поверхности // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 139–144. DOI: 10.21046/rorse2018.139. (**Минобрнауки Охотн.**)
 79. *Пырков В.Н., Василец П.М., Дегай А.Ю., Андреев М.В., Черных В.Н., Солодилов А.В.* Новый подход к верификации отчетов о вылове на основе классификации треков спутникового позиционирования в системе мониторинга рыболовства // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 145–149. DOI: 10.21046/rorse2018.145. (**«Мониторинг»**)

80. *Балашов И.В., Бурцев М.А., Мазуров А.А., Сенько К.С., Гуцалов О.В., Пустынский И.С., Чудин А.О., Ян В.Д.* Оценка точности и опыт использования алгоритмов детектирования термических аномалий по данным спутника Himawari-8 // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 155-163. DOI: 10.21046/rorse2018.155. **(Минобрнауки Охотн.)**
81. *Ермаков Д.М., Саворский В.П., Лупян Е.А.* Разработка методических основ автоматизированного спутникового экологического мониторинга горнопромышленных районов // Сергеевские чтения: Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии / под ред. В.И. Осипова, Н.Г. Максимовича, А.А. Баряха, Е.В. Булдаковой, А.Д. Деменева, О.Н. Ереминой, В.Г. Заиканова, В.Н. Катаева, Ю.А. Мамаева, О.Ю. Мещеряковой. Пермь, 2019. С. 581–583.
82. *Балашов И.В., Бурцев М.А., Прошин А.А., Матвеев А.М., Мазуров А.А., Сенько К.С.* Опыт совместного использования данных MODIS и VIIRS для оценки площадей пройденных лесными пожарами // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 164–170. DOI: 10.21046/rorse2018.164. **(Минобрнауки Охотн.)**
83. *Бриль А.А., Кашицкий А.В., Уваров И.А.* Возможности оценки высот пепловых шлейфов вулканов в информационной системе дистанционного мониторинга активности вулканов Камчатки и Курил VolSatView // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 171–176. DOI: 10.21046/rorse2018.171. **(«Мониторинг»)**
84. *Плотников Д.Е., De Abelleira D., Veron S.R., Zhang M., Толпин В.А., Барталев С.А., Lavreniuk M., Waldner F., Ziad A.* Картографирование пахотных земель в различных регионах глобальной сети JECAM на основе спутниковых данных Landsat и полученной методом краудсорсинга опорной информации // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 177–184. DOI: 10.21046/rorse2018.177. **(«Мониторинг»)**
85. *Кашицкий А.В., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Матвеев А.М.* Анализ возможности автоматической кросс-калибровки данных российских спутников методом анализа гистограмм // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 191–197. DOI: 10.21046/rorse2018.191. **(«Мониторинг»)**
86. *Бурцев М.А., Балашов И.В., Лупян Е.А., Кашицкий А.В., Прошин А.А.* Современные требования к информационным средам, обеспечивающим создание и поддержку систем дистанционного мониторинга // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 234–240. DOI: 10.21046/rorse2018.234. **(«Мониторинг»)**
87. *Саворский В.П., Кашицкий А.В., Панова О.Ю., Савченко Е.В.* Информационные инструменты анализа антропогенного воздействия на ареалы растений по данным дистанционного зондирования при проведении специальных экспертиз // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 271–278. DOI: 10.21046/rorse2018.271. **(РФФИ)**
88. *Толпин В.А., Загора А.Л., Плотников Д.Е., Ёлкина Е.С., Козочкина А.А.* Инструментарий оценки используемости сельскохозяйственных земель в информационных системах семейства «Созвездие-БЕГА» // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 279–286. DOI: 10.21046/rorse2018.279. **(«Мониторинг»)**
89. *Златопольский А.А., Кашицкий А.В.* Инструмент анализа рисунка и линеаментов в информационных системах семейства «Созвездие-БЕГА» // Информационные

- технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 287–294. DOI: 10.21046/rorse2018.287. («Мониторинг»)
90. Прошин А.А., Бурцев М.А., Кобец Д.А., Сычугов И.Г. Методы и инструменты выявления задержек в процессе автоматизированной потоковой обработки спутниковых данных // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 295–300. DOI: 10.21046/rorse2018.295. («Мониторинг»)
91. Прошин А.А., Антоненко В.А. Интеграция сервиса доступа к спутниковым данным в облачную платформу C2 // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 301–307. DOI: 10.21046/rorse2018.301. («Мониторинг»)
92. Буланов К.А., Бурцев М.А., Денисов П.В., Лупян Е.А., Мартьянов А.С., Самолётова М.И., Середа И.И., Толпин В.А., Трошко К.А. Модуль дистанционного зондирования земли единой федеральной информационной системы о землях сельскохозяйственного назначения // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 308–313. DOI: 10.21046/rorse2018.308.
93. Уваров И.А., Бурцев М.А., Толпин В.А., Береза О.В., Тарасова Л.Л., Страшная А.И., Василенко Е.В. Текущие возможности системы Вега-Агрометеоролог // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 329–334. DOI: 10.21046/rorse2018.329. («Мониторинг»)
94. Бурцев М.А., Милехин О.Е., Крамарева Л.С., Антонов В.Н., Балашов И.В., Кашицкий А.В., Лупян Е.А., Матвеев А.М., Прошин А.А., Успенский С.А. Объединенная система распределенной работы с данными центров приема НИЦ «Планета»: текущие возможности и перспективы развития // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 374–379. DOI: 10.21046/rorse2018.374. («Мониторинг»)
95. Лупян Е.А., Прошин А.А., Балашов И.В., Бурцев М.А., Кашицкий А.В., Толпин В.А., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Уваров И.А. Центр коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (организация распределенной работы со сверхбольшими архивами спутниковых данных для решения научных и прикладных задач) // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 380–387. DOI: 10.21046/rorse2018.380. («Мониторинг»)
96. Гирина О.А., Романова И.М., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Крамарева Л.С., Уваров И.А., Кашицкий А.В., Константинова А.М., Мальковский С.И., Королев С.П. Анализ эксплозивных извержений вулканов Камчатки и Курил с помощью информационных технологий // Материалы 5-й Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и высокопроизводительные вычисления». Хабаровск: Тихоокеанский гос. ун-т, 2019. С. 18–23.
97. Барталев С.А., Голубева Е.И., Зимин М.В., Медведев А.А., Тутубалина О.В. Мультиплатформенные исследования северных лесов: теория и методы // Доклады российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова: Материалы Международного симпозиума. Сер. «Научные Международные симпозиумы. Инженерная экология» / под ред. Ф.А. Мкртчяна. Москва, 3–5 дек. 2019. С. 20–21.
98. Платонов А.Е., Толпин В.А., Дубянский В.М., Уваров И.А., Титков А.В., Колясникова Н.М., Платонова О.В., Лупян Е.А., Малеев В.В. Связь климатических и экологических условий с заболеваемостью природно-очаговыми инфекциями: взгляд из космоса // Научно-практич. конф. «Актуальные вопросы изучения особо опасных и природно-очаговых болезней»: сб. ст. Ростов-на-Дону, 25–26 сент. 2019. С. 227–236.

99. Прошин А.А., Лупян Е.А., Кашицкий А.В., Балашов И.В., Бурцев М.А. Текущие возможности Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов (SDM-2019): сб. тр. Всероссийской конф. 26–30 авг. 2019, Бердск. Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2019. С. 39–44.
100. Titov V., Bakhanov V., Demakova A., Sergievskaya I., Kuzmin A., Sadovsky I., Sazonov D. Investigation of short-scale sea wave spectra with optical and radiometric methods // Proc. SPIE. Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2019, 111501P. 2019. <https://doi.org/10.1117/12.2533316>. («Мониторинг-Океан»)
101. Арумов Г.П., Бухарин А.В. Выбор конфигурации миниатюрного лидара для калибровки сигнала обратного рассеяния // 15-я Международная конф. «Оптические методы измерения потоков»: сб. ст. Москва, 24–28 июня 2019. 2019. С. 23–31. <https://omfi-conf.ru/>. («Мониторинг-Атмосфера»)
102. Лаврова О.Ю., Лупян Е.А., Мутягина М.И., Уваров И.А. “See the Sea” Information System. Current Capabilities and Prospects of Development (Информационная система See the Sea: текущие возможности и перспективы развития) // Information Technologies in Remote Sensing of the Earth — RORSE 2018. 2019. P. 367–373. URL: <https://doi.org/10.21046/rorse2018.367> («Мониторинг-Океан-Технологии»).
103. Романов А.Н., Хвостов И.В., Тихонов В.В., Боярский Д.А., Севастьянова Л.Ю., Уланов П.Н., Шарков Е.А. Радиотепловой режим дельт северных рек (на примере Северной Двины) как индикатор гидролого-климатических изменений в Арктике // Материалы Всероссийской конф. с международным участием «2-е Юдахинские чтения «Проблемы обеспечения экологической безопасности и устойчивое развитие арктических территорий». Архангельск: ФГБУН ФИЦКИА РАН, 2019. С. 105–109. [http://yudakhin.fciarctic.uran.ru/yudakhin/Сборник материалов Юдахинские чтения 09.07.pdf](http://yudakhin.fciarctic.uran.ru/yudakhin/Сборник_материалов_Юдахинские_чтения_09.07.pdf) (РИНЦ) («Мониторинг-Климат»)
104. Стерлядкин В.В., Кузьмин А.В., Шарков Е.А., Садовский И.Н. Глобальный космический мониторинг метеобстановки. Проект «Конвергенция» // Материалы 5-й Всероссийской научно-практической конф. «Методологические аспекты развития метеорологии специального назначения, экологии и систем аэрокосмического мониторинга». 19–20 марта 2019, ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, Воронеж. 2019. С. 32–39 («Мониторинг-Климат-Океан»)
105. Арумов Г.П., Бухарин А.В. Выбор конфигурации миниатюрного лидара для калибровки сигнала обратного рассеяния. 15я Международная конф. «Оптические методы измерения потоков»: сб. ст. Москва, 24–28 июня 2019. 2019. С. 23–31. ISBN 978-5-906972-44-6. <http://omfi-conf.ru/> («Мониторинг-Атмосфера»)

Материалы конференций

106. Бурцев М.А., Кашицкий А.В., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Пустынский И.С., Холодов Е.И. Использование кросскалибровки методом сопоставления гистограмм для оценки качества данных «Канопус-В-ИК» // 6-я Международная науч. конф. «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли». 10–13 сент. 2019. Красноярск, 2019. С. 3–8. («Мониторинг»)
107. Уваров И.А., Марченков В.В., Толпин В.А. Возможности анализа метеорологических данных в информационных системах семейства «Созвездие-ВЕГА» // 6-я Международная науч. конф. «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли». 10–13 сент. 2019. Красноярск, 2019. С. 337–339.
108. Лупян Е.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Сенько К.С. Лесные пожары на территории России в 2019 году. Аномалия или тенденция // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного

- зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 7. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. **(Минобрнауки Охотн.)**
109. *Саворский В.П., Горный В.И., Лупян Е.А., Панова О.Ю., Константинова А.М., Ермаков Д.М., Захаров М.А.* Метод дистанционного контроля нарушенности в процедурах обнаружения и мониторинга антропогенного воздействия на растительность // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 60. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. **(РФФИ)**
110. *Кашицкий А.В., Мазуров А.А., Лупян Е.А., Пустынский И.С., Холодов Е.И.* Технология автоматической кросс-калибровки спутниковых данных методом анализа гистограмм // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 35. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. **(«Мониторинг»)**
111. *Колбудаев П.А., Плотников Д.Е., Матвеев А.М., Барталев С.А.* Развитие методов географической допривязки и выявления облачности на монохроматических изображениях КМСС на основе использования безоблачного эталона и анализа границ объектов земной поверхности // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 37. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. **(«Мониторинг»)**
112. *Мухамеджанов И.Д., Константинова А.М., Лупян Е.А., Гафуров А.А.* Подходы к построению системы дистанционного мониторинга реки Амударьи и ее притоков // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 111. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. **(«Мониторинг»)**
113. *Балашов И.В., Бройде В.М., Гайдуков В.Д., Бурцев М.А., Лупян Е.А., Сычуглов И.Г., Василейский А.С., Павловский А.А., Ермаков Е.В., Каюков Д.С.* Единое геоинформационное хранилище пространственных данных для обеспечения автоматизированной работы с данными ДЗЗ в интересах ОАО РЖД // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 75. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a.
114. *Беляев М.Ю., Сармин Э.Э., Бурцев М.А., Балашов И.В., Есаков А.М., Толпин В.А.* Использование данных КЭ «Сценарий» для оценки состояния русла реки Бурея после схода скальных пород // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 76. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. **(«Мониторинг»)**
115. *Дегай А.Ю., Пырклов В.Н., Василец П.М., Андреев М.В.* Исследование возможности использования методов машинного обучения для автоматической классификации треков спутникового позиционирования на примере системы мониторинга рыболовства // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 82. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. **(«Мониторинг»)**
116. *Константинова А.М., Кашицкий А.В., Сенько К.С., Балашов И.В., Саворский В.П.* Построение подсистем для работы с данными дистанционного мониторинга для наблюдения за различными объектами на примере подсистемы мониторинга зон расположения источников техногенных отходов и отвалов // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы

- дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 97. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. (**«Мониторинг», РФФИ**)
117. Крамарева Л.С., Суханова В.В., Амельченко Ю.А., Бородицкая А.В., Лотарева З.Н., Шамилова Ю.А., Слесаренко Л.А., Лупян Е.А., Крашенинникова Ю.С. Наблюдение зоны обрушения сопки в районе реки Буря 11 декабря 2018 года // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 100. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a.
 118. Лозин Д.В., Балашов И.В. Анализ особенностей распределений наблюдаемого FRP для пожаров различных типов территорий и антропогенных объектов // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 102. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. (**Минобрнауки Охотн.**)
 119. Прошин А.А., Кашицкий А.В., Бурцев М.А., Бриль А.А. Организация получения, обработки и предоставления данных спутников серии Sentinel-2 в центре коллективного пользования ИКИ-Мониторинг // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 117. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. (**«Мониторинг»**)
 120. Сычуглов И.Г., Балашов И.В., Руткевич Б.П. Оценка возможностей технологии Docker для построения элементов систем спутникового мониторинга // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 124. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. (**«Мониторинг»**)
 121. Руткевич П.Б., Голицын Г.С., Руткевич П.П., Тур А.В. О влиянии силы Кориолиса на АКА эффект // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 211. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a.
 122. Егоров В.А., Ворушилов И.И., Жарко В.О., Барталев С.А. Развитие метода оценки запасов стволовой древесины с использованием данных зимнего периода наблюдений // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 420. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. (**Минобрнауки Охотн.**)
 123. Плотников Д.Е., Ёлкина Е.С., Дунаева Е.А., Барталев С.А. Метод восстановления сезонных временных серий мультиспектральных спутниковых индикаторов на основе LOWESS и кросс-канальной оптимизации для оценки сельскохозяйственной растительности // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 442. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. (**РФФИ**)
 124. Хвостиков С.А., Барталев С.А., Ёлкина Е.С. Метод детектирования аномалий развития сельскохозяйственных посевов на основе многолетних эталонов сезонной динамики вегетационного индекса NDVI // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 462. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. (**«Мониторинг»**)
 125. Самофал Е.В., Егоров В.А., Барталев С.А., Кашицкий А.В., Толпин В.А. Исследование возможностей распознавания сельскохозяйственных культур на основе радиолокационного вегетационного индекса NRVI (Sentinel-1A/1B) // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 446. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. (**«Мониторинг»**)

126. Толпин В.А., Комаров В.Б. Особенности построения «норм» среднемноголетней временной динамики вегетационных индексов // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 460. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. (**«Мониторинг»**)
127. Ёлкина Е.С., Дунаева Е.А., Барталев С.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А. Использование данных дистанционного зондирования для оценки состояния озимых культур // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 468. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. (**РФФИ**)
128. Умрихин А.Д., Никифоров О.В., Петрукович А.А., Уваров И.А. Интеграция моделей прогноза границ аврорального овала в информационную систему мониторинга ионосферы «Аврора-Арктика» // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 499. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. (**«Мониторинг»**)
129. Хвостиков С.А. Глобальные динамические модели растительности и их интеграция с данными ДЗЗ // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 521. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. (**«Мониторинг»**)
130. Шабанов Н.В. Фенологические изменения в северных лесах России на основе анализа временных рядов MODIS LAI // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 522. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. (**«Мониторинг»**)
131. Саворский В.П., Бурцев М.А., Захаров А.И., Остроухов А.В., Суханова В.В. Комплексный анализ по данным ДЗЗ зоны обрушения сопки в районе реки Бурей 11 декабря 2018 года // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 9. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. (**Тема № 0030-2019-0008 «Космос», НИР ИВЭП ДВО РАН № 115040910002**)
132. Мухамеджанов И.Д., Константинова А.М., Лузян Е.А., Гафуров А.А. Возможности использования ЦКП «ИКИ-Мониторинг» в научных проектах направленных на исследование водных ресурсов Центральной Азии // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 535. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. (**«Мониторинг»**)
133. Алексеева Т.А., Тихонов В.В., Фролов С.В., Ретина И.А., Раев М.Д., Соколова Ю.В., Шарков Е.А., Афанасьева Е.В., Сероветников С.С. Сравнение сплоченности ледяного покрова по данным спутниковой микроволновой радиометрии (алгоритмы NASA Team, ASI and VASIA2) с данными визуальных судовых наблюдений // Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 нояб. 2019, ИКИ РАН, Москва. 2019. С. 239. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a (**РИНЦ**)
134. Алексеева Т.А., Тихонов В.В., Фролов С.В., Ретина И.А., Раев М.Д., Соколова Ю.В., Шарков Е.А., Афанасьева Е.В., Сероветников С.С. Сравнение сплочённости ледяного покрова по данным спутниковой микроволновой радиометрии (алгоритмы NASA Team, ASI and VASIA2) с данными визуальных судовых наблюдений: доклад // Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 нояб. 2019, ИКИ РАН. http://conf.rse.geosmis.ru/files/pdf/17/7753_Алексеева_ИКИ_2019.pdf.

135. Кузьмин А.В., Садовский И.Н. Приборная платформа для проведения наземно-дистанционных исследований состояния морской поверхности и атмосферы // Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 нояб. 2019, ИКИ РАН, Москва. 2019. С. 281. DOI 10.21046/17DZZconf-2019a. (**«Мониторинг-Океан»**)
136. Кузьмин А.В., Садовский И.Н., Стерлядкин В.В., Шарков Е.А. Группировка малых космических аппаратов для глобального метеорологического мониторинга на базе микроволнового радиометра-спектрометра // Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 нояб. 2019, ИКИ РАН, Москва. 2019. С. 140. DOI 10.21046/17DZZconf-2019a. (**«Мониторинг-Климат»**)
137. Лаврова О.Ю., Назирова К.Р. Определение параметров р. Мзымта по спутниковым данным и натурным измерениям // Материалы 10-й международной Школы-семинара «Спутниковые методы и системы исследования Земли». Таруса, 9–12 апр. 2019. URL: http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2019.html. (**РФФИ**) (**«Мониторинг-Океан»**)
138. Лаврова О.Ю., Назирова К.Р., Краюшкин Е.В., Строчков А.Я., Соловьев Д.М., Алферьева Я.О. Подспутниковые дрейфтерные эксперименты по изучению прибрежных течений // Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 нояб. 2019, ИКИ РАН, Москва. 2019. С. 287. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a (**РФФИ**) (**«Мониторинг-Океан»**)
139. Митягина М.И. Методы спутниковой радиолокации в их применении к наблюдению мезо- и субмезомасштабных фронтов // Материалы 10-й международной Школы-семинара «Спутниковые методы и системы исследования Земли». Таруса, 9–12 апр. 2019. URL: http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2019.html. (**«Мониторинг-Океан»**)
140. Назирова К.Р., Лаврова О.Ю., Алферьева Я.О., Краюшкин Е.В., Строчков А.Я., Соловьев Д.М. Особенности восстановления гидрофизических полей в приустьевых зонах контактными и дистанционными методами // Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 нояб. 2019, ИКИ РАН, Москва. 2019. С. 308. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a (**РФФИ**).
141. Пашинов Е.В., Стерлядкин В.В., Сазонов Д.С., Селунский А.Б., Кузьмин А.В., Шарков Е.А. Нейросетевой алгоритм восстановления профиля влажности атмосферы по данным КЭ «Конвергенция» // Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 нояб. 2019, ИКИ РАН, Москва. 2019. С. 53. DOI 10.21046/17DZZconf-2019a. (**«Мониторинг-Климат»**)
142. Романов А.Н., Тихонов В.В., Хвостов И.В., Боярский Д.А., Шарков Е.А. Изменения окружающей среды в регионах с холодным климатом по данным спутниковой микроволновой радиометрии // Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 нояб. 2019, ИКИ РАН, Москва. 2019. С. 57. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a (**РИНЦ**) (**«Мониторинг-Климат», РФФИ**).
143. Романов А.Н., Тихонов В.В., Хвостов И.В., Боярский Д.А., Шарков Е.А. Изменения окружающей среды в регионах с холодным климатом по данным спутниковой микроволновой радиометрии: доклад: доклад // Материалы 17-ой Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 нояб. 2019, ИКИ РАН. http://conf.rse.geosmis.ru/files/pdf/17/7366_Romanov_2019.pdf. (**«Мониторинг-Климат», РФФИ**)

144. Садовский И.Н., Сазонов Д.С. Проблема использования спектрального описания ветрового волнения при оценке излучательных характеристик морской поверхности // Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 нояб. 2019, ИКИ РАН, Москва. 2019. С. 345. DOI 10.21046/17DZZconf-2019a. (**«Мониторинг-Океан»**)
145. Сазонов Д.С. Исследование пространственной структуры азимутальной анизотропии собственного излучения водной поверхности по данным эксперимента 2019 года // Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 нояб. 2019, ИКИ РАН, Москва. 2019. С. 346. DOI 10.21046/17DZZconf-2019a. (**«Мониторинг-Океан»**)
146. Городецкий А.К. «Применение углового сканирования и метода нулевой воздушной массы в задачах определения температуры поверхности и оптической толщи атмосферы в ИК-диапазоне спектра» // Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» 11–15 ноября 2019, ИКИ РАН, Москва. 2019. С. 25. DOI 10.21046/17DZZconf-2019a.
<http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=162&thesis=7782> (**«Мониторинг-Атмосфера»**)
147. Ижовкина Н.И., Артеха С.Н., Ерохин Н.С., Михайловская Л.А. Вторжения космических лучей, аэрозольная плазма и мощные атмосферные вихри // Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН. Москва. Тезисы докладов, 2019. С. 34.
<http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=162&thesis=7421> (**«Мониторинг-Атмосфера»**)
148. Левина Г.В. Вихревая облачная конвекция // Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН. 11–15 ноября 2019г., 2019.
http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/ (**«Мониторинг-Атмосфера»**)
149. Втюрин С.А., Князев Н.А. Алгоритмы управления и взаимодействия автоматической системы оценки облачности на борту космического аппарата // Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» 11–15 ноября 2019, ИКИ РАН, Москва. 2019. С. 22.
<https://doi.org/10.21046/17DZZconf-2019a>
<http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=162&thesis=7791> (**«Мониторинг-Атмосфера»**)

Тезисы, доклады, циркуляры

150. Багдатова Н. Разработка модуля потоковой первичной географической привязки данных космической фотосъемки // Тезисы 16-й Конф. молодых ученых, посвященной дню космонавтики, «Фундаментальные и прикладные космические исследования», 15–17 апр. 2019. С. 11.
151. Бочка Л.А. Разработка блока атмосферной коррекции данных спутников SENTINEL-2 в информационной системе «ВЕГА-SCience» // Тезисы 17-й Конф. молодых ученых, посвященной дню космонавтики, «Фундаментальные и прикладные космические исследования», 15–17 апр. 2019. С. 23.
152. Бриль А.А., Кашицкий А.В., Константинова А.М. Основные возможности получения оценок высот пепловых шлейфов на основе данных спутников дистанционного зондирования Земли // Тезисы 16-й Конф. молодых ученых,

- посвященной дню космонавтики, «Фундаментальные и прикладные космические исследования», 15–17 апр., 2019. С. 24. (**«Мониторинг»**)
153. *Денисов М.В.* Разработка программного модуля автоматического получения данных из распределенных источников // Тезисы 16-й Конф. молодых ученых, посвященной дню космонавтики, «Фундаментальные и прикладные космические исследования», 15–17 апр., 2019. С. 39.
 154. *Ёлкина Е.С., Барталев С.А., Плотников Д.Е.* Исследование возможностей детектирования посевов сахарного тростника в Южной Индии на основе спутниковых данных различного пространственного разрешения // Тезисы 16-й Конф. молодых ученых, посвященной дню космонавтики, «Фундаментальные и прикладные космические исследования», 15–17 апр., 2019. С. 48. (**«Мониторинг»**)
 155. *Кобец Д.А., Толпин В.А.* Создание интерактивных инструментов анализа данных официальной статистики по сельскохозяйственным культурам на основе ВІ-технологий // Тезисы 16-й Конф. молодых ученых, посвященной дню космонавтики, «Фундаментальные и прикладные космические исследования», 15–17 апр., 2019. С. 67–68. (**«Мониторинг»**)
 156. *Колбудаев П.А., Плотников Д.Е., Барталев С.А.* Метод выявления облачности и теней на монохроматических изображениях МСУ-100 М («Метеор-М» № 2) на основе данных Landsat 8 и MODIS // Тезисы 16-й Конф. молодых ученых, посвященной дню космонавтики, «Фундаментальные и прикладные космические исследования», 15–17 апр., 2019. С. 70–71.
 157. *Купенова Э.М.* Новые возможности классификации информации ДЗЗ в информационных системах дистанционного мониторинга // Тезисы 16-й Конф. молодых ученых, посвященной дню космонавтики, «Фундаментальные и прикладные космические исследования», 15–17 апр., 2019. С. 87.
 158. *Лиходедова М.И.* Разработка методики составления каталога контрольных точек для калибровки космических съемочных систем // Тезисы 16-й Конф. молодых ученых, посвященной дню космонавтики, «Фундаментальные и прикладные космические исследования», 15–17 апр., 2019. С. 92.
 159. *Миклашевич Т.С., Барталев С.А.* Определение допустимой дальности экстраполяции значений дистанционного зондирования на основе анализа плотности наблюдений во временном ряду // Тезисы 16-й Конф. молодых ученых, посвященной дню космонавтики, «Фундаментальные и прикладные космические исследования», 15–17 апр., 2019. С. 109.
 160. *Мухамеджанов И.Д., Уваров И.А.* Спутниковый мониторинг годовой изменчивости русла верхнего течения Амударьи и ее притоков // Тезисы 16-й Конф. молодых ученых, посвященной дню космонавтики, «Фундаментальные и прикладные космические исследования», 15–17 апр., 2019. С. 118–119.
 161. *Нефёдов В.П., Балашов И.В.* Создание быстрых процедур пространственной аннотации объектов дистанционного мониторинга // Тезисы 16-й Конф. молодых ученых, посвященной дню космонавтики, «Фундаментальные и прикладные космические исследования», 15–17 апр., 2019. С. 123.
 162. *Овсянникова Е.В.* Разработка программного модуля точной допривязки данных дистанционного зондирования Земли на основе алгоритмов автоматического выделения контрольных точек // Тезисы 16-й Конф. молодых ученых, посвященной дню космонавтики, «Фундаментальные и прикладные космические исследования», 15–17 апр., 2019. С. 131.
 163. *Ведешин Л.А.* Концепция создания системы мониторинга и управления экологическим состоянием околоземного космического пространства // 8-я Всероссийская конф. «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение»: тез. докл. 15–19 апр. 2019. С. 231–232.

164. Константинова А.М., Мухамеджанов И.Д. Система наблюдений природных и природно-антропогенных объектов с помощью данных дистанционного зондирования Земли // Тезисы 16-й Конф. молодых ученых, посвященной дню космонавтики, «Фундаментальные и прикладные космические исследования», 15–17 апр., 2019. С. 77. (**«Мониторинг»**)
165. Пулинец С.А., Ведешин Л.А. Комплексные исследования солнечно-земных связей наземными и космическими средствами // 7-я Международная научно-технич. конф. «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли»: сб. тез. Москва: АО «Корпорация ВНИИЭМ», 2019. С. 6–10.
166. Матвеев А.М., Мазуров А.А., Бриль А.А., Кашицкий А.В., Лупян Е.А. Оценка стабильности работы приемной аппаратуры российских спутников с помощью кросс-калибровки данных методом анализа гистограмм // 7-я Международная научно-технич. конф. «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли»: сб. тез. Москва: АО «Корпорация ВНИИЭМ», 2019. С. 98–100.
167. Барталев С.А. Возможности развития системы мониторинга бюджета углерода лесов России на основе дистанционного зондирования Земли из космоса / Круглый стол «О государственном регулировании выбросов парниковых газов в Российской Федерации». 15 марта 2019 года; Комитет Совета Федерации Российской Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию. 2019.
168. Барталев С.А. Спутниковый мониторинг лесов России, как информационная основа устойчивого государственного лесопользования / Научные дебаты «Институциональная организация лесопользования: федерализм или централизация?» 29 марта 2019 года. Научный совет по лесу РАН. 2019.
169. Лупян Е.А. Дистанционный спутниковый мониторинг как источник объективной информации для управления развитием Арктического Региона / Международный арктический форум. 9–10 апр. 2019. Санкт-Петербург. 2019.
170. Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А. Анализ многолетней крупномасштабной динамики лесов России на основе данных спутникового мониторинга // Доклады 7-й Всероссийской конф. (с международным участием) «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии», посвященной памяти выдающегося ученого-лесоведа академика РАН А.С. Исаева. Москва, 22–24 апр. 2019. М.: ЦЭПЛ РАН, 2019.
171. Plotnikov D., de Abelleira D., Verón S., Zhang M., Lavreniuk M., Kussul N., Waldner F., Ziad A. Comparison Of Different Data Sources To Generate Regional Cropland Maps Across Agricultural Systems / Living Planet Symposium (симпозиум Европейского космического агентства). 13–17 мая 2019, Милан, Италия.
172. Барталев С.А., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А. Современные методы и информационные технологии мониторинга сельскохозяйственных земель и посевов / Международный форум «Агротех-2019. Шаги за горизонт». 30 мая 2019 г, Москва.
173. Барталев С.А., Лупян Е.А. Результаты мониторинга лесных пожаров сезона 2019 года и пути повышения эффективности охраны лесов России / Научные дебаты по лесным пожарам, организованные Научным советом по проблемам леса РАН в рамках Всероссийской конф. с международным участием, посвященной 75-летию Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН «Лесные экосистемы бореальной зоны: биоразнообразие, биоэкономика, экологические риски». 26 авг. 2019. Красноярск.
174. Krayushkin E., Lavrova O.Y., Nazirova K.R. Interannual Vistula Lagoon outflow properties variability by remote sensing and oceanographic experiments data // SPIE Remote Sensing 2019 Symp. 9–12 Sept. 2019, Strasbourg, France. URL : <https://spie.org/conferences-and-exhibitions/past-conferences-and-exhibitions/remote-sensing-2019> (**РФФИ**)

175. *Lavrova O., Serebryany A.* Specifics of manifestation of internal waves induced by the propagation of a front of freshened waters in optical and microwave satellite data // 2019 Living Planet Symp. 13–17 May 2019, Milan, Italy. URL: <https://lps19.esa.int/NikalWebsitePortal/living-planet-symposium-2019/lps19> **(РФФИ)**, **(«Мониторинг-Океан»)**
176. *Mityagina M.I.* Assessment of surface oil pollution risks of the southeastern Black Sea based on long-term satellite data // SPIE Remote Sensing 2019 Symp. 9–12 Sept. 2019, Strasbourg, France. URL: <https://spie.org/conferences-and-exhibitions/past-conferences-and-exhibitions/remote-sensing-2019>. **(«Мониторинг-Океан»)**
177. *Mityagina M., Lavrova O.* Survey of small-scale fronts in enclosed seas using satellite remote sensing // 2019 Living Planet Symp. 13–17 May 2019, Milan, Italy. URL: <https://lps19.esa.int/NikalWebsitePortal/living-planet-symposium-2019/lps19> **(РФФИ)**
178. *Nazirova K.R., Lavrova O.Y., Krayushkin E.V.* Features of monitoring near the mouth zones by contact and contactless methods // SPIE Remote Sensing 2019 Symp. 9–12 Sept. 2019, Strasbourg, France. URL: <https://spie.org/conferences-and-exhibitions/past-conferences-and-exhibitions/remote-sensing-2019> **(РФФИ)**.
179. *Пашинов Е.В., Стерлядкин В.В., Шарков Е.А.* Экспериментальная проверка дифференциального радиометрического метода определения профиля влажности атмосферы // 16-я Конференция молодых ученых, посвященная Дню космонавтики: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2019. С. 133–134. https://kmu.cosmos.ru/docs/2019/Tezisy_KMU_2019_2.pdf. **(«Мониторинг-Климат»)**
180. *Садовский И.Н., Кузьмин А.В.* Спектральные характеристики морской поверхности по микроволновым измерениям: доклад // Материалы научного семинара «Механика, управление и информатика». 22–24 окт. 2019, Таруса. 2019. <http://www.iki.rssi.ru/seminar/2019102224/index.php> **(«Мониторинг-Океан»)**
181. *Садовский И.Н., Кузьмин А.В., Стерлядкин В.В.* Микроволновый радиометр спектрометр спутникового базирования МИРС — перспективное средство оценки метеообстановки в глобальном масштабе / Круглый стол ВС РФ «Средства и методы гидрометеорологической разведки»; ГМС ВС РФ Международного военно-технического форума «Армия-2019». Кубинка Московской обл., 25–30 июня 2019. 2019. **(«Мониторинг-Климат»)**
182. *Стерлядкин В.В., Кузьмин А.В., Шарков Е.А., Садовский И.Н., Сазонов Д.С., Пашинов Е.В., Селунский А.Б., Хапин Ю.Б.* Возможности радиометра-спектрометра МИРС в космическом эксперименте «Конвергенция» // 31-й Симп. по радиолокационному зондированию природных сред: сб. тез. 2019. **(«Мониторинг-Климат»)**
183. *Levina G.V.* Bridging the turbulent vortex dynamo theory and tropical cyclone investigations. The 17th European Turbulence Conference, Turin, Italy, 03–06 September, 2019. Oral presentation. <http://www.symposium.it/files/eventi/84/etc-2019-561.pdf> **(«Мониторинг-Атмосфера»)**
184. *Levina G.V.* A realization of the turbulent vortex dynamo in the atmosphere: based on the 21st century knowledge. Marchuk Scientific Readings. Second Workshop on Numerical Modeling in MHD and Plasma Physics: Methods, Tools, and Outcomes. Moscow, Russia, 10–11 Oct. 2019. Oral presentation. http://conf.nsc.ru/mhd19/en/scientific_program **(«Мониторинг-Атмосфера»)**
185. *Левина Г.В., Яровая Д.А.* От теории к практике: ранняя диагностика тропического и квазитропического циклогенеза на основе концепции турбулентного вихревого динамо. Всероссийская конференция, посвященная 100-летию М.А. Петросянца «М.А. Петросянец и отечественная метеорология»: сб. тез.; доклад. Москва, МГУ – Гидрометцентр РФ, 21–22 нояб. 2019. 2019. <https://meteo-petrosyanc.ru/> **(«Мониторинг-Атмосфера»)**

186. *Левина Г.В.* Тропический циклогенез как экстремальное пороговое явление во влажно-конвективной спиральной атмосферной турбулентности // Всероссийская конф. КЛИМАТ-2019 «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования»: сб. тез.; докл. Москва, ИФА РАН им. А.М. Обухова, 26–28 нояб. 2019. , 2019. <http://ifaran.ru/science/conferences/climate2019.html> (**«Мониторинг-Атмосфера»**)
187. *Яровая Д.А., Левина Г.В.* Исследование вихревой конвекции квазитропического циклона над Черным морем на основе облачно-разрешающего численного моделирования // Всероссийская конф. КЛИМАТ-2019 «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования»: сб. тез.; докл. Москва, ИФА РАН им. А.М. Обухова, 26–28 нояб. 2019. 2019. <http://ifaran.ru/science/conferences/climate2019.html> (**«Мониторинг-Атмосфера»**)
188. *Втюрин С.А., Князев Н.А.* Оперативная автоматическая оценка облачной обстановки для управления космической съемкой в целях повышения её эффективности / Международный военно-технический форум «Армия-2019» / Круглый стол ГМС ВС РФ «Средства и методы гидрометеорологической разведки»; ГМС ВС РФ Международного военно-технического форума «Армия-2019»: докл. 2019. Кубинка Московской обл., 25–30 июня 2019. http://www.rusarmyexpo.ru/business_program (**«Мониторинг-Атмосфера»**)
189. *Gomes M., Spjeldvik W., Martin I., Alves M., Gusev A.* Influence of Radon Gas on Measurements Neutron and Gamma Radiation in the Dry and Rainy Weather of 2018 in Brazil, Abstract A04p-232 July 8-18, 2019 at the Palais des Congrès in Montréal, Québec, Canada www.iugg2019montreal.com (**«Мониторинг-Атмосфера»**)
190. *Pulinets S., Davidenko D., Titova M.* GPS technologies as means for natural hazards monitoring // 20th Intern. Beacon Satellite Symp. conference book / University of Mazury in Olsztyn. Poland, 19–23 Aug. 2019. 2019. P. 151. <https://drive.google.com/file/d/1f7Lp1HTcYg3mro9n0MuFhr-AdReqd-j3/view> <http://bss2019.uwm.edu.pl/sites/default/files/uploads/pulinets.pdf> (**«Мониторинг-Атмосфера»**)

Патенты

191. *Стерлядкин В.В.* Оптический струнный волнограф. Заявка на патент № 2019116825 от 30.05.2019. Этап патентования — рассмотрение по существу.
192. *Стерлядкин В.В., Куликовский К.В., Лихачева М.В.* Струнный волнограф с инфракрасной регистрацией длины струн. Заявка на патент № 2019120409 от 01.07.2019. Этап патентования — рассмотрение по существу.
193. *Стерлядкин В.В.* Способ определения двумерного распределения уклонов волн на водной поверхности. Заявка на патент № 2019119028 от 19.06.2019. Этап патентования — рассмотрение по существу.
194. *Стерлядкин В.В.* Бескалибровочный радиометрический способ измерения комплексной диэлектрической проницаемости по отражению от поверхности раздела в безэховой камере. Заявка на патент № 2019116823 от 30.05.2019. Этап патентования — рассмотрение по существу.

Публикации (РНФ)

1. *Lavrova O.Yu., Kostianoy A.G., Mityagina M.I., Storchkov A.Ya., Bocharova T.Yu.* Remote sensing of sea ice in the Caspian Sea // Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal

- Waters, and Large Water Regions. 2019. V. 11150. 111500Q. DOI: 10.1117/12.2532136 (**Web of Sciences-Q3, Scopus**) (РНФ, «Мониторинг-Океан»)
2. *Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Kostianoy A.G.* Online database “See The Sea” for the Caspian Sea // *Ecologica Montenegrina*. 2019. V. 25. P. 79–90. URL: www.biotaxa.org/em (**Scopus-Q3, РИНЦ**) (РНФ, «Мониторинг-Океан»)
 3. *Mityagina M.I., Lavrova O.Yu., Kostianoy A.G.* Main pattern of the Caspian Sea surface oil pollution revealed by satellite data // *Ecologica Montenegrina*. 2019. V. 25. P. 91–105. URL: www.biotaxa.org/em (**Scopus Q3, РИНЦ**) (РНФ, «Мониторинг-Океан»)
 4. *Миклашевич Т.С., Барталев С.А., Плотников Д.Е.* Интерполяционный алгоритм восстановления длинных временных рядов данных спутниковых наблюдений растительного покрова // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019. Т. 16. № 6. (в печати). (**Scopus-Q3**) (РНФ)
 5. *Князева С.В., Еришов Д.В., Барталев С.А., Королева Н.В., Эйшлина С.П., Гаврилюк Е.А., Сочилова Е.Н., Никитина А.Д., Ковганко К.А., Белова Е.И., Плотникова А.С., Подольская Е.С.* Хроника VII Всероссийской конференции «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии» // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019. Т. 16. № 6. (в печати). (**Scopus-Q3**) (РНФ)
 6. *Миклашевич Т.С., Барталев С.А., Плотников Д.Е.* Интерполяционный алгоритм восстановления длинных временных рядов данных спутниковых наблюдений растительного покрова // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019. Т. 16. № 6. (в печати). (**Scopus-Q3**) (РНФ)
 7. *Гирина О.А., Лупян Е.А., Мельников Д.В., Кашицкий А.В., Уваров И.А., Бриль А.А., Константинова А.М., Бурцев М.А., Маневич А.Г., Гордеев Е.И., Крамарева Л.С., Сорокин А.А., Мальковский С.И., Королев С.П.* Создание и развитие информационной системы «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019. Т. 16. № 3. С. 249–265. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-249-265. (**Scopus-Q3**) (РНФ, «Мониторинг»)
 8. *Стыценко Ф.В., Барталев С.А., Букась А.В., Еришов Д.В., Сайгин И.А.* Возможности пролонгированной оценки постпожарного состояния хвойных вечнозелёных лесов по данным многоспектральных спутниковых измерений // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019. Т. 16. № 5. С. 217–227. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-217-227. (**Scopus- Q3**) (РНФ)
 9. *Плотникова А.С., Еришов Д.В., Харитонова А.О., Шуляк П.П., Барталев С.А., Стыценко Ф.В.* Пространственная оценка современных пожарных режимов лесных экосистем России // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019. Т. 16. № 5. С. 228–240. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-228-240. (**Scopus-Q3**) (РНФ, ЦЭПЛ РАН (№. ААА-А18-118052400130-7), «Мониторинг»)
 10. *Ховратович Т.С., Барталев С.А., Иванова А.А.* Применение метода выявления изменений по спутниковым данным Landsat 8 и Sentinel-2 для детектирования сплошных и выборочных рубок леса // Доклады 7-й Всероссийской конференции (с международным участием) «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии», посвященной памяти выдающегося ученого-лесоведа академика РАН А.С. Исаева. Москва, 22–24 апр. 2019. М.: ЦЭПЛ РАН, 2019. С. 101–103. (РНФ)
 11. *Гирина О.А., Мальковский С.И., Сорокин А.А., Лупян Е.А.* Ретроспективный анализ извержения 1964 г. вулкана Шивелуч (Камчатка) с помощью информационной системы VolSatView // *Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018*. ИКИ РАН, 2019. С. 34–41. DOI: 10.21046/rorse2018.34. (РНФ)
 12. *Ховратович Т.С., Иванова А.А., Барталев С.А.* Анализ результатов применения алгоритма детектирования рубок леса по спутниковым данным дистанционного

- зондирования // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 108–115. DOI: 10.21046/rorse2018.108. **(РНФ)**
13. *Стыценко Ф.В., Сайгин И.А., Барталев С.А.* Исследование возможностей многолетнего мониторинга состояния поврежденных пожарами лесов на основе спутниковых данных // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 185–190. DOI: 10.21046/rorse2018.185. **(РНФ)**
 14. *Гирина О.А., Лупян Е.А., Крамарева Л.С., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Сорокин А.А., Гордеев Е.И., Уваров И.А., Кашицкий А.В., Бурцев М.А., Марченков В.В., Мазуров А.А., Константинова А.М., Романова И.М., Мальковский С.И., Королев С.П.* Информационная система «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» (ИС VolSatView): возможности и опыт работы // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 359–366. DOI: 10.21046/rorse2018.359. **(РНФ, «Мониторинг»)**
 15. *Барталев С.А., Егоров В.А., Еришов Д.В., Жарко В.О., Хвостиков С.А.* Космическая научная обсерватория углерода лесов России: концепция и первые результаты проекта // Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 75-летию Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН «Лесные экосистемы бореальной зоны: биоразнообразие, биоэкономика, экологические риски», 2019. С. 34–35. **(РНФ)**
 16. *Гирина О.А., Мальковский С.И., Сорокин А.А., Лупян Е.А.* Ретроспективный анализ распространения эруптивной тучи во время катастрофического извержения вулкана Шивелуч в ноябре 1964 г. // Вулканизм и связанные с ним процессы: материалы 22-й Всероссийской науч. конф., посвящённой Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский. 28–29 марта 2019. С. 55–58. **(РНФ)**
 17. *Гирина О.А., Мельников Д.В., Лупян Е.А., Маневич А.Г., Нуждаев А.А., Крамарева Л.С.* Сильное эксплозивное извержение вулкана Райкоке (Курилы) в 2019 г. // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 3. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. **(РНФ, «Мониторинг»)**
 18. *Гирина О.А., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Кашицкий А.В., Уваров И.А., Балашов И.В., Романова И.М., Марченков В.В., Константинова А.М., Крамарева Л.С., Мальковский С.И., Королев С.П.* Основные результаты 2019 г. комплексного мониторинга вулканов Камчатки и Курил с помощью информационной системы VolSatView // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 79. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. **(РНФ, «Мониторинг»)**
 19. *Гирина О.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Мальковский С.И., Сорокин А.А., Уваров И.А., Марченков В.В., Кашицкий А.В., Крамарева Л.С., Нуждаев А.А.* Анализ извержений вулкана Безымянный в 2019 г. с помощью дистанционных методов исследований // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 383. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. **(РНФ)**
 20. *Мельников Д.В., Гирина О.А., Маневич А.Г., Лупян Е.А.* Геолого-геоморфологические результаты извержения вулкана Райкоке (Курильские острова) по спутниковым данным // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 390. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. **(РНФ)**
 21. *Жарко В.О., Барталев С.А., Богодухов М.А.* Метод оценки продуктивности восстанавливающегося лесного покрова на основе продуктов обработки данных ДЗЗ и моделей хода роста лесных насаждений // Материалы Семнадцатой Всероссийской

- Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 423. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. **(РНФ)**
22. *Стыценко Ф.В., Сайгин И.А., Барталев С.А.* Оценка транспортной доступности лесных ресурсов России // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 451. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. **(РНФ)**
23. *Ховратович Т.С., Барталев С.А.* Возможности построения ежегодных оценок сомкнутости полога и полноты лесов по данным спутниковой системы MODIS // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 4463. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. **(РНФ)**
24. *Ворушилов И.И., Барталев С.А., Егоров В.А.* Построение набора опорных данных для оценки запаса стволовой древесины с использованием данных Terra-MODIS // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 412. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. **(РНФ)**
25. *Миклашевич Т.С., Барталев С.А.* Восстановление и коррекция длинных временных рядов данных спутниковых наблюдений растительного покрова // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 436. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. **РНФ**
26. *Сайгин И.А., Барталев С.А., Стыценко Ф.В.* Метод детектирования долгосрочных усыханий темнохвойных лесов России на основе спутниковых данных // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 445. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. **(РНФ)**
27. *Барталев С.А.* Методы и результаты оценки состояния и динамики лесов России в XXI веке на основе данных спутниковых наблюдений // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 517. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. **(РНФ)**
28. *Барталев С.А.* Космическая научная обсерватория углерода лесов России // Материалы Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019. ИКИ РАН, 2019. С. 528. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a. **(РНФ)**
29. *Князев Н.А.* Мониторинг аномального цветения водорослей в южной части Каспийского моря по данным спутникового дистанционного зондирования (1999–2006 гг.) // Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 нояб. 2019, ИКИ РАН, Москва. 2019. С. 275. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a **(РНФ)**.
30. *Лаврова О.Ю.* Выявление пространственной, сезонной и межгодовой изменчивости поверхностных проявлений внутренних волн в Каспийском море (1999–2006, 2019 гг.) // Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 нояб. 2019, ИКИ РАН, Москва. 2019. С. 285. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a **(РНФ)**.
31. *Лаврова О.Ю., Костяной А.Г.* Спутниковый мониторинг ледяного покрова в Каспийском море в 21 веке // Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 нояб. 2019, ИКИ РАН, Москва. 2019. С. 286. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a **(РНФ)**.

32. *Кашицкий А.В., Гирина О.А., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Уваров И.А., Мальковский С.И., Королев С.П., Крамарева Л.С.* Использование информации ДЗЗ для мониторинга вулканов Камчатки с помощью информационной системы VolSatView // Седьмая международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». Сборник тезисов. Москва: АО «Корпорация ВНИИЭМ», 2019. С. 115-116. **(РНФ, «Мониторинг»)**
33. *Lavrova O.Y., Mityagina M.I., Storchkov A.Ya.* Remote sensing of sea ice in the Caspian Sea // SPIE Remote Sensing 2019 Symp. 9–12 Sept. 2019, Strasbourg, France (<https://spie.org/conferences-and-exhibitions/past-conferences-and-exhibitions/remote-sensing-2019>) **(РНФ)**
34. *Mityagina M.I., Lavrova O.Y.* Types of the Caspian Sea surface oil pollution revealed by satellite remote sensing // SPIE Remote Sensing 2019 Symp. 9–12 Sept. 2019, Strasbourg, France. URL: <https://spie.org/conferences-and-exhibitions/past-conferences-and-exhibitions/remote-sensing-2019> **(РНФ)**

Публикации, подготовленные в соавторстве с зарубежными учеными

1. *Waldner F., Schucknecht A., Lesiv M., Gallego J., See L., Pérez-Hoyos A., d'Andrimont R., de Maet T., Laso Bayas J.C., Fritz S., Leo O., Kerdiles H., Díez M., Van Tricht K., Gilliams S., Shelestov A., Lavreniuk M., Simões M., Ferraz R., Bellón B., Bégué A., Hazeu G., Stonacek V., Kolomaznik J., Misurec J., Veron S.R., De Abelleira D., Plotnikov D.E., Mingyong L., Singha M., Patil P., Zhang Y., Defourny P.* Conflation of expert and crowd reference data to validate global binary thematic maps // Remote Sensing of Environment. 2019. V. 221. P. 235–246. DOI: 10.1016/j.rse.2018.10.039. **(Web of science-Q1, Scopus)**
2. *Waldner F., Bellemans N., Hochman Z., Newby T., De Abelleira D., Veron S.R., Bartalev S.A., Lavreniuk M., Kussul N.N., Le Maire G., Simões M., Skakun S., Defourny P.* Roadside collection of training data for cropland mapping is viable when environmental and management gradients are surveyed // Intern. J. Applied Earth Observation and Geoinformation. 2019. V. 80. P. 82–93. DOI: 10.1016/j.jag.2019.01.002. **(Web of science-Q1, Scopus)**
3. *Zhurbas V., Väli G., Kostianoy A., Lavrova O.* Hindcast of the mesoscale eddy field in the Southeastern Baltic Sea: Model output vs satellite imagery // Russian J. Earth Science. 2019. V. 19. ES4006. DOI:10.2205/2019ES000672 **(Web of Sciences, Scopus)**.
4. *Kozlovsky A., Shalimov S., Oyama S., Hosokawa K., Lester M., Ogawa Y., Hall C.* Ground Echoes Observed by the Meteor Radar and High - Speed Auroral Observations in the Substorm Growth Phase // Journal of Geophysical Research Space Physics, 2019. <https://doi.org/10.1029/2019ja026829> **(Web of Sciences-Q1, Scopus)**
5. *Liu J.H., Zhai S.C., Kudashev E., Hong F.W., Yan K.* Unsteadiness control of laminar junction flows on pressure fluctuations // Applied Mathematics and Mechanics / Engl. ed. 2019. V. 40(3). P. 373–380. <https://doi.org/10.1007/s10483-019-2447-6> **(Scopus-Q2)**
6. *Onishchenko O., Fedun V., Horton W., Pokhotelov O., Verth G.* Dust devils: structural features, dynamics and climate impact, Climate, 2019, 7(1), 12. <https://doi.org/10.3390/cli7010012> **(Web of Sciences-Q3, Scopus)**
7. *Martin I.M., Gusev A.A., da Silva A.A.* Monitoring of gamma radiation in São José dos Campos and correlation of rain intensity in the local // American J. Engineering Research. 2019. V. 8. No. 6. P. 55–58.
8. *Sharkov E.A., Kuzmin A.V., Vedenkin N.N., Jeong S., Ermakov D.M., Kvitka V.E., Kozlova T.O., Komarova N.Yu., Minaev P.Yu., Park I.I.H., Pashinov E.V., Pozanenko A.S., Prasolov V.O., Sadovskii I.N., Sazonov D.S., Sterlyadkin V.V., Khapin Yu.B., Hong G.,*

Chernenko A.M. Space experiment “Convergence”: scientific objectives, on-board equipment, methods of inverse problems // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2019. V. 55. No. 9. P. 1437–1456. DOI: 10.1134/S0001433819090469 (**«Мониторинг-Климат-Океан»**)

9. *Онищенко О.Г., Похотелов О.А., Астафьева Н.М., Хортон В., Федун В.Н.* Структура и динамика концентрированных мезомасштабных вихрей в атмосферах планет // *Успехи физ. наук*. 2019. (в печати). <https://doi.org/10.3367/UFNr.2019.07.038611> (**Web of Sciences, Scopus-Q2**)